

Universidad Carlos III de Madrid

Escuela Politécnica Superior



Ingeniería Eléctrica- Departamento de Electricidad

## **Trabajo Fin de Grado**

### **Diseño de una subestación de tracción de corriente alterna (1x25 kV)**

Autor: José Manuel Fernández Manzano

Tutor: Lorenzo Muñoz Pascual

Leganés, octubre 2014

# AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero dar las gracias a todas las personas que me han apoyado durante estos largos años de estudios. Principalmente a mi familia, mis padres y mi hermana, que han creído en mi tanto en los buenos momentos como en los tiempos más complicados. De no ser por ellos no creo que hubiese llegado tan lejos.

En segundo lugar, quiero darle las gracias a mi tutor, Lorenzo Muñoz, por haberme elegido para la realización del Trabajo Fin de Grado, y por toda la ayuda, dedicación y consejos que me ha dado en el desarrollo del mismo.

# RESUMEN

En el presente Trabajo Fin de Grado primero se ha realizado una pequeña introducción a la tracción eléctrica ferroviaria, analizando las diferentes tecnologías existentes.

Posteriormente se han descrito los diferentes sistemas de electrificación existentes, tanto en corriente continua como en corriente alterna, y han sido comparados para ver las ventajas e inconvenientes de cada uno.

También se han realizado los cálculos de las corrientes nominales y de cortocircuito necesarios para el dimensionamiento la subestación de tracción. A partir de los resultados obtenidos de los cálculos de las corrientes, se ha elegido la aparamenta de la subestación.

Para finalizar, se ha redactado un manual de operación donde se exponen los diferentes niveles de mando y control de la subestación y el equipamiento que se puede maniobrar desde cada uno de estos niveles.

# ABSTRACT

The present end of Degree Project covers, in the first place, a brief introduction to the railway electrical traction, analysing the different existing technologies.

At a second stage, the different existing electrification systems have been described either for direct current as for alternating current. Both systems have been compared to one another to analyse the advantages and disadvantages of each one.

Calculation on nominal currents and on necessary short-circuit currents to assess the size of the electrical traction substation have also been undertaken. On the basis of the obtained results of the calculation on currents, electrical equipment for the substation has been chosen.

At a final later stage, a manual on operations has been created. This manual covers the different hierarchy and control procedures that apply within the substation as well as the electrical equipment that can be used from each of these levels.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.</b>	<b>11</b>
<b>1</b>	<b>11</b>
1.1 INTRODUCCIÓN	11
1.2 OBJETIVOS	11
1.3 FASES DEL DESARROLLO	11
1.4 MEDIOS EMPLEADOS	12
1.5 ESTRUCTURA DE LA MEMORIA	12
<b>CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE DE LA TRACCIÓN ELÉCTRICA.</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>14</b>
2.1 ESTADO DEL ARTE	14
2.1.1 EVOLUCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DEL FERROCARRIL EN ESPAÑA	14
2.1.2 LA TRACCIÓN ELÉCTRICA EN ESPAÑA	16
2.2 ELECTRIFICACIÓN FERROVIARIA	17
2.2.1 INTRODUCCIÓN	17
2.2.2 ESTRUCTURA	18
2.3 SUBESTACIONES DE TRACCIÓN	19
2.3.1 SUBESTACIÓN DE TRACCIÓN DE CORRIENTE CONTINUA	21
2.3.2 SUBESTACIÓN DE TRACCIÓN DE CORRIENTE ALTERNA	22
2.4 CIRCUITO DE TRACCIÓN	23
2.5 SISTEMAS DE ELECTRIFICACIÓN	24
2.5.1 SISTEMAS DE ELECTRIFICACIÓN EN CORRIENTE CONTINUA	25
2.5.2 SISTEMAS DE ELECTRIFICACIÓN EN CORRIENTE ALTERNA	28
2.6 EFICIENCIA DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA FERROVIARIA	37
2.6.1 FRENADO REGENERATIVO	38
2.6.2 SISTEMAS ACUMULADORES DE ENERGÍA	38
<b>CAPÍTULO 3: DIMENSIONAMIENTO DE UNA S/E DE TRACCIÓN 1X25.</b>	<b>43</b>
<b>3</b>	<b>43</b>
3.1 DATOS DE PARTIDA	43
3.2 CÁLCULO DE POTENCIAS NOMINALES Y DE CORTOCIRCUITO	44
3.2.1 INTENSIDADES NOMINALES	44
3.2.2 INTENSIDADES DE CORTOCIRCUITO	45
3.2.3 DATOS RESULTANTES	46
3.3 JUSTIFICACIÓN DE CABLES Y EMBARRADOS	47
3.3.1 PARQUE INTENSIDAD DE 220 kV	47
3.3.2 PARQUE DE 25 kV	53

<b>3.4 CÁLCULO DE AISLADORES.</b>	<b>57</b>
<b>3.5 PARARRAYOS AUTOVÁLVULA</b>	<b>61</b>
3.5.1 PARARRAYOS AUTOVÁLVULA DE 220 kV	61
3.5.2 PARARRAYOS AUTOVÁLVULA DE 27,5 kV	62
<b>3.6 INSTALACIÓN DE PUESTA A TIERRA</b>	<b>64</b>
3.6.1 CÁLCULO DE LAS TENSIONES DE PASO Y CONTACTO	65
3.6.2 CÁLCULO DE LA MALLA DE PUESTA A TIERRA.	67

## **CAPÍTULO 4: DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES** **69**

<b>4</b>	<b>69</b>
<b>4.1 INSTALACIONES EN 220 kV</b>	<b>69</b>
4.1.1 PROTECCIÓN GENERAL DE LA INSTALACIÓN	69
4.1.2 GRUPO PROTECCIÓN-TRANSFORMADOR DE POTENCIA	72
<b>4.2 CABINAS DE 27,5 kV</b>	<b>73</b>
4.2.1 CELDAS DE LLEGADA DE LOS TRANSFORMADORES DE POTENCIA	73
4.2.2 CELDAS DE ALIMENTACIÓN A CATENARIA Y FEEDER	74
4.2.3 CELDAS DE ACOPLAMIENTO	75
<b>4.3 EMBARRADO LADO DE 27,5kV (INTERIOR EDIFICIO Y PÓRTICO DE FEEDERS)</b>	<b>76</b>
<b>4.4 SECCIONADOR DE ACOPLAMIENTO DE PÓRTICO DE SALIDA DE FEEDER</b>	<b>76</b>
<b>4.5 PARARRAYOS AUTOVÁLVULA DEL PÓRTICO DE SALIDA DE FEEDER</b>	<b>77</b>
<b>4.6 INSTALACIÓN DE SERVICIOS AUXILIARES</b>	<b>77</b>
4.6.1 TRANSFORMADOR DE SERVICIOS AUXILIARES	77
4.6.2 CELDAS DE LLEGADA DIRECTA DE SERVICIOS AUXILIARES	78

## **CAPÍTULO 5: PRESUPUESTO** **79**

<b>5</b>	<b>79</b>
<b>5.1 EQUIPOS DE 220 kV</b>	<b>79</b>
<b>5.2 EQUIPOS DE 27,5 kV</b>	<b>80</b>
<b>5.3 CONEXIÓN A CATENARIA</b>	<b>82</b>
<b>5.4 RED DE TIERRAS</b>	<b>82</b>
<b>5.5 EMBARRADOS</b>	<b>83</b>
<b>5.6 PROTECCIONES</b>	<b>83</b>
<b>5.7 RESUMEN DEL PRESUPUESTO</b>	<b>84</b>

## **CAPÍTULO 6: MANUAL DE OPERACIÓN** **85**

<b>6</b>	<b>85</b>
<b>6.1 NOMENCLATURA DE LOS EQUIPO DE MANIOBRA Y CORTE.</b>	<b>85</b>
<b>6.2 NIVELES DE MANDO</b>	<b>85</b>
6.2.1 A PIE DE EQUIPO	85
6.2.2 BASTIDOR SINÓPTICO	86

6.2.3	PUESTO DE OPERACIÓN LOCAL (P.O.L)	86
6.2.4	UNIDAD DE CONTROL DE SUBESTACIÓN (U.C.S)	86
<b>6.3</b>	<b>PUESTO CENTRAL DE TELEMANDO</b>	<b>87</b>
<b>6.4</b>	<b>SECCIONADOR DE ACOMETIDA GENERAL</b>	<b>89</b>
6.4.1	NIVEL DE MANDO	89
6.4.2	INDICACIONES	90
6.4.3	ENCLAVAMIENTOS	90
<b>6.5</b>	<b>SECCIONADOR DE ENTRADA DE LÍNEA 220 kV (Q89-L1, Q89-L2)</b>	<b>90</b>
6.5.1	NIVEL DE MANDO	90
6.5.2	INDICACIONES	91
6.5.3	ENCLAVAMIENTOS	92
<b>6.6</b>	<b>SECCIONADOR DE PUESTA A TIERRA DE ACOMETIDA 220 kV (Q57-L1, Q57-L2)</b>	<b>92</b>
6.6.1	NIVEL DE MANDO	92
6.6.2	INDICACIONES	93
6.6.3	ENCLAVAMIENTOS	93
<b>6.7</b>	<b>REGULADOR DE TENSIÓN DE TRANSFORMADOR DE TRACCIÓN</b>	<b>95</b>
6.7.1	NIVEL DE MANDO	95
6.7.2	INDICACIONES	96
6.7.3	ENCLAVAMIENTOS	96
<b>6.8</b>	<b>INTERRUPTOR 27,5 kV ACOMETIDA TRANSFORMADOR TRACCIÓN (Q52-T1, Q52-T2)</b>	<b>96</b>
6.8.1	NIVEL DE MANDO	96
6.8.2	INDICACIONES	97
6.8.3	ENCLAVAMIENTOS	97
<b>6.9</b>	<b>SECCIONADOR DE LÍNEA DE ACOMETIDA TRAF0 27,5 kV (Q89-T1, Q89-T2)</b>	<b>98</b>
6.9.1	NIVEL DE MANDO	98
6.9.2	INDICACIONES	99
6.9.3	ENCLAVAMIENTO	99
<b>6.10</b>	<b>SECCIONADOR DE PUESTA A TIERRA ACOMETIDA TRAF0 27,5 kV ( Q57-T1, Q57-T2)</b>	<b>99</b>
6.10.1	NIVEL DE MANDO	99
6.10.2	INDICACIONES	100
6.10.3	ENCLAVAMIENTO	100
<b>6.11</b>	<b>INTERRUPTOR DE ACOPLAMIENTO DE BARRAS 27,5 kV Q52-A1</b>	<b>101</b>
6.11.1	NIVEL DE MANDO	101
6.11.2	INDICACIONES	102
6.11.3	ENCLAVAMIENTOS	102
<b>6.12</b>	<b>SECCIONADOR DE BARRAS-CABINA DE ACOPLAMIENTO 27,5 kV Q89-RC1</b>	<b>103</b>
6.12.1	NIVEL DE MANDO	103
6.12.2	INDICACIONES	103
6.12.3	ENCLAVAMIENTOS	104
<b>6.13</b>	<b>SECCIONADOR DE BARRAS -CABINA REMONTE DE BARRAS Q89-RC2</b>	<b>104</b>
6.13.1	NIVEL DE MANDO	104
6.13.2	INDICACIONES	105
6.13.3	ENCLAVAMIENTOS	105
<b>6.14</b>	<b>SECCIONADOR DE PUESTA A TIERRA BARRAS (Q57-RC1, Q57-RC2)</b>	<b>105</b>
6.14.1	NIVEL DE MANDO	105

6.14.2	INDICACIONES	106
6.14.3	ENCLAVAMIENTOS	106
<b>6.15</b>	<b>SECCIONADOR DE SALIDA CATENARIA/FEEDER 27,5 kV (Q89-C11, Q89-C12, Q89-C21, Q89-C22)</b>	<b>106</b>
6.15.1	NIVEL DE MANDO	106
6.15.2	INDICACIONES	107
6.15.3	ENCLAVAMIENTOS	107
<b>6.16</b>	<b>SECCIONADOR DE PUESTA A TIERRA DE SALIDA CATENARIA/FEEDER 27,5 kV (Q57-C1.1, Q57-C1.2, Q57-C2.1, Q57-C2.2)</b>	<b>108</b>
6.16.1	NIVEL DE MANDO	108
6.16.2	INDICACIONES	108
6.16.3	ENCLAVAMIENTOS	108
<b>6.17</b>	<b>INTERRUPTOR DE SALIDA CATENARIA/FEEDER 27,5 kV (Q52-C1.1, Q52-C1.2, Q52-C2.1, Q52-C2.2)</b>	<b>109</b>
6.17.1	NIVEL DE MANDO	109
6.17.2	INDICACIONES	110
6.17.3	ENCLAVAMIENTO	110
<b>6.18</b>	<b>SECCIONADOR DE PÓRTICO DE CATENARIA Q89-PC1.1, Q89-PC1.2, Q89-PC2.1, Q89-PC2.2</b>	<b>111</b>
6.18.1	NIVEL DE MANDO	111
6.18.2	INDICACIONES	111
6.18.3	ENCLAVAMIENTOS	111
<b>6.19</b>	<b>SECCIONADOR DE APERTURA EN CARGA DE TRANSFORMADOR DE SERVICIOS AUXILIARES Q89-TSA1, Q89-TSA2</b>	<b>112</b>
6.19.1	NIVEL DE MANDO	112
6.19.2	INDICACIONES	113
6.19.3	ENCLAVAMIENTO	113
<b>6.20</b>	<b>SECCIONADOR DE PUESTA A TIERRA DE TRANSFORMADOR DE SERVICIOS AUXILIARES Q57-TSA1, Q57-TSA2</b>	<b>113</b>
6.20.1	NIVEL DE MANDO	113
6.20.2	INDICACIONES	114
6.20.3	ENCLAVAMIENTO	114
<b>6.21</b>	<b>OPERACIÓN DE LA SUBESTACIÓN. SITUACIÓN NORMAL</b>	<b>114</b>
6.21.1	SUBESTACIÓN	114
6.21.2	NIVEL DE CONTROL	115
<b>6.22</b>	<b>OPERACIÓN DE LA SUBESTACIÓN- SITUACIONES DEGRADADAS</b>	<b>115</b>
6.22.1	FALLO CALLE 220 kV, TRAFO TRACCIÓN O ACOMETIDA TRAFO 27,5 kV	115
6.22.2	FALLO EN BARRA 27,5 kV	116
6.22.3	FALLO TRANSFORMADOR SS/AA, TRAFOS SS/AA	116
6.22.4	FALLO GENERAL SERVICIOS AUXILIARES	117
6.22.5	FALLO DE LA U.C.S	117
<b>CAPÍTULO 7: PLANIFICACIÓN</b>		<b>118</b>



<b>7.1</b>	<b>PLANIFICACIÓN</b>	<b>118</b>
<b>7.2</b>	<b>ESTADO DEL ARTE</b>	<b>118</b>
<b>7.3</b>	<b>DIMENSIONAMIENTO ELÉCTRICO</b>	<b>118</b>
<b>7.4</b>	<b>MANUAL DE OPERACIÓN Y MANIOBRA</b>	<b>118</b>
<b>7.5</b>	<b>PRESUPUESTO</b>	<b>119</b>
<b>7.6</b>	<b>EDICIÓN FINAL DEL DOCUMENTO</b>	<b>119</b>
<b>7.7</b>	<b>REVISIÓN DEL DOCUMENTO</b>	<b>119</b>
<b>7.8</b>	<b>PRESENTACIÓN POWERPOINT</b>	<b>119</b>
<b>7.9</b>	<b>DIAGRAMA DE GANTT</b>	<b>120</b>
<b><u>CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES</u></b>		<b><u>121</u></b>
<b><u>CAPÍTULO 9: TRABAJOS FUTUROS</u></b>		<b><u>122</u></b>
<b><u>REFERENCIAS</u></b>		<b><u>123</u></b>
<b><u>ANEXO: PLANOS</u></b>		<b><u>125</u></b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resumen de la evolución del ferrocarril en España[2], [1].....	16
Tabla 2: Comparación de 1x3000 Vcc y 2x3000 Vcc. [2], [5] .....	27
Tabla 3: Comparación de sistemas 1x25 kV y 2x25 kV. [5] .....	36
Tabla 4: Intensidades nominales, sobrecargas y cortocircuito .....	46
Tabla 5: Datos de partida del cable RAIL.....	47
Tabla 6: Ficha técnica cable RAIL.....	47
Tabla 7: Capacidad de sobrecarga del cable RAIL.....	48
Tabla 8: Datos de partida de la tabla de tendido .....	50
Tabla 9: Datos intermedios de la tabla de tendido .....	50
Tabla 10: Tabla de Tendido cable RAIL.....	52
Tabla 11: Datos de partida del embarrado tubular 60/52.....	53
Tabla 12: Ficha Técnica del embarrado tubular 60/52 .....	53
Tabla 13: Capacidad de sobrecarga del tubo 60/52 a 90°C.....	54
Tabla 14: Datos del cable de cobre 3x300 mm <sup>2</sup> .....	55
Tabla 15: Ficha Técnica cable de cobre 3x300 mm <sup>2</sup> .....	56
Tabla 16: Capacidad de sobrecarga del cable de cobre 3x300mm <sup>2</sup> .....	56
Tabla 17: Características de los aisladores .....	60
Tabla 18: Niveles de aislamiento del pararrayos de 220kV .....	62
Tabla 19: Pararrayos adoptado 220kV .....	62
Tabla 20: Nivel de aislamiento del pararrayos 27,5 kV .....	63
Tabla 21: Pararrayos adoptado de 27,5 kV.....	64
Tabla 22: Tensiones máximas admisibles.....	65
Tabla 23: Datos de cálculo malla de tierras .....	67
Tabla 24: Tensiones de paso previsibles .....	68
Tabla 25: Tensiones de contacto previsibles .....	68
Tabla 26: Tensiones máximas admisibles.....	68

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Elementos fundamentales de un sistema de electrificación ferroviario. [2], [3], [4], [6]	18
Figura 2: Esquema subestación con topología barra simple. [2], [5]	20
Figura 3: Configuración del sistema de tracción. [5]	23
Figura 4: Esquema sistema electrificación en corriente continua. 1x3000 Vcc. [2], [5]	26
Figura 5: Esquema del sistema de 15 kV a 16,7 Hz. [3]	30
Figura 6: Conexión subestaciones de un sistema de corriente alterna. [2], [5]	31
Figura 7: Distribución de corriente en el sistema 1x25 kV. [2], [5]	32
Figura 8: Sistema 1x25 kV con cable de retorno. [2], [5]	32
Figura 9: Sistema 2x25 kV. [2], [5]	34
Figura 10: Distribución de intensidades del sistema 2x25 kV. [2], [5]	34
Figura 11: Esquema eléctrico en explotaciones ferroviarias de A.C. [4]	35
Figura 12: Volante de inercia. [12]	39
Figura 13: Conexión de vehículos eléctricos a la catenaria del ferrocarril. [13]	40
Figura 14: Tranvía de Metro Sevilla con tecnología de supercondensadores	42
Figura 15: Tiempo en que el cable RAIL alcanza 90°C (200 en corto) partiendo de la T° ambiente	49
Figura 16: Tensión mecánica conductor fase	52
Figura 17: Flecha conductor fase	52
Figura 18: Tiempo en que el tubo 60/52 alcanza 90°C (200 en corto) partiendo de la T° ambiente	55
Figura 19: Tiempo en que el cable 3x300mm <sup>2</sup> alcanza 90°C (200 en corto) partiendo de T° ambiente	57

# Capítulo 1: Introducción y objetivos.

## 1.1 Introducción

En el presente Trabajo Fin de Grado (TFG) se va a abordar el estudio de la tracción eléctrica ferroviaria de forma global y más en particular el sistema de electrificación en corriente alterna.

El sector del transporte en España es uno de los más relevantes desde un punto de vista económico para el país. En concreto, el transporte por ferrocarril ha experimentado un desarrollo muy importante en los últimos años y se presume que seguirá desarrollándose a corto plazo. Por tanto, se trata de un problema presente en la actualidad y resulta interesante la labor de realizar un estudio detallado que permita comprender bien aquellos fenómenos que acontecen en el mundo de la tracción eléctrica, y que permitirá, desde un punto de vista del diseño, optimizar mejor su desarrollo y eficiencia.

## 1.2 Objetivos

En el presente TFG se va a estudiar la tracción eléctrica ferroviaria, donde se analizarán las diferentes tecnologías existentes, ventajas e inconvenientes de cada una de ellas y sus modos de funcionamiento.

Se realizarán los cálculos necesarios para el dimensionamiento de la subestación de tracción y a partir de los resultados obtenidos elegiremos la aparamenta de la subestación.

Por último, se redactará un manual de operación donde se describirán los diferentes niveles de mando y se expondrán las maniobras que pueden ser realizadas desde cada nivel de mando.

## 1.3 Fases del desarrollo

En la realización del presente Trabajo Fin de Grado, en primer lugar se inició un estudio previo, buscando gran cantidad de información relacionada con la tracción eléctrica ferroviaria de forma genérica, siguiendo las referencias bibliográficas que se citan durante el documento.

A continuación se profundizó más en el tema que concernía al TFG, que es el de la tracción en corriente alterna, a través de consultas en diferentes libros citados en la bibliografía.

Posteriormente se realizaron los cálculos necesarios para el dimensionamiento eléctrico de la subestación de tracción y se describirá la aparamenta seleccionada que cumple con los valores calculados.

Por último se redactará un manual donde se exponen las diferentes maniobras que se pueden ser realizadas en la subestación y desde que nivel de mando pueden ser realizadas así como las condiciones que se deben dar para la realización de dichas maniobras.

#### **1.4 Medios empleados**

Los medios con los que se han contado para la realización del Trabajo Fin de Grado, han sido Microsoft Office, y más concretamente la formulación de hojas Excel así como el programa AutoCAD.

#### **1.5 Estructura de la memoria**

Para facilitar la lectura de la memoria, se incluye a continuación un breve resumen de cada capítulo:

En el capítulo 1 se describe cual es la motivación del Trabajo Fin de Grado, es decir, sobre que va a tratar y por qué. También se exponen los diferentes objetivos que se persiguen en el TFG, así como cuales han sido las fases del desarrollo del mismo y los medios con los que se han contado para llevarlo a cabo.

En el capítulo 2 se hace una introducción a la tracción eléctrica en España y a la evolución de las diferentes tecnologías del ferrocarril en España. También se explica la estructura de la electrificación ferroviaria así como los diferentes sistemas de electrificación que existen. Por último se explican brevemente los diferentes sistemas de aprovechamiento de la energía de frenado de los trenes.

En el capítulo 3 se realizan los cálculos necesarios para el dimensionamiento eléctrico de la subestación de tracción mediante el cálculo de las diferentes corrientes de cortocircuito.

En el capítulo 4 se describe los elementos que componen la instalación a partir de los diferentes catálogos disponibles.

En el capítulo 5 se expone el coste de cada uno de los componentes de la subestación de tracción, así como el presupuesto por ejecución por contrata, el presupuesto de liquidación y el presupuesto total.

En el capítulo 6 se exponen las diferentes maniobras que se pueden ser realizadas en la subestación y desde que nivel de mando pueden ser realizadas así como las condiciones que se deben dar para la realización de dichas maniobras.

En el capítulo 7 se exponen las diferentes tareas de las que se compone el presente TFG, así como una breve descripción de cada uno y su duración estimada.

En el capítulo 8 y 9 se enumeran las conclusiones del Trabajo Fin de Grado y posibles trabajos futuros.

Finalmente se incluye un anexo compuesto por los diferentes planos utilizados para la realización de este TFG.

## Capítulo 2: Estado del arte de la tracción eléctrica.

### 2.1 Estado del arte

#### 2.1.1 Evolución de las tecnologías del ferrocarril en España

En el año 1848 entró en funcionamiento la primera línea ferroviaria en España, que unía Barcelona con Mataró. Aquí empezó una forma de transporte que siguió extendiéndose por España y que debido a la evolución de la tecnología, el mundo ferroviario se ha visto obligado a irse adaptando a los nuevos tiempos y nuevas tecnologías, con el objetivo principal de aumentar la velocidad de los trenes. [1]

En un principio, en España se declaró estándar un ancho de vía superior al europeo, ancho nacional o ibérico, ancho que aún se utiliza en nuestros días. Se dice que esta mayor anchura se eligió para evitar una posible invasión del extranjero por vía férrea, pero la verdadera causa fue que por la geografía montañosa de nuestro territorio se requería una mayor potencia en las máquinas de vapor, y eso las hacía más grandes y pesadas. Hoy sabemos que en esta decisión había un error técnico: la potencia de una máquina de vapor es mayor cuanto mayor es la presión que en ella se produce y cuanto más largo sea el cilindro. Por tanto, habría bastado emplear locomotoras más largas y no necesariamente más anchas. [1]

Esta ha sido una de las evoluciones reseñables en la implantación de la alta velocidad, ya que se llegó a la conclusión de que una línea de ancho internacional sería acertada, ya que esto permitiría aprovechar trenes e instalaciones probadas en Europa, e incluso que en un futuro no muy lejano, se produjera una comunicación directa de la red de ferrocarriles española con la del resto de países vecinos.

Otro cambio a resaltar ha sido la evolución en el sistema de tracción de las locomotoras. [2]

El mayor inconveniente que tenían las locomotoras era que requerían de frecuentes paradas técnicas a causa del elevado mantenimiento que necesitaban. Por esta razón y por la fuerte competencia que surgió con el transporte por carretera en la segunda mitad del siglo XX, el transporte por ferrocarril tuvo que reajustar sus costes, operación que se vio favorecida cuando se comenzaron a emplear nuevas formas de energías como alternativa al vapor. [1]

Los primero que se hizo en este proceso de cambio fue la utilización de locomotoras equipadas con motor diésel, ya que precisaban de menor tiempo de mantenimiento, lo que suponía un ahorro en los costes. Pero el paso más importante fue el uso de máquinas de tracción eléctrica, que pueden funcionar sin descanso durante días.

Con este tipo de locomotoras, la explotación de una línea ferroviaria llega al máximo rendimiento al hacer los trenes un mayor número de viajes con tiempo mínimo de entretenimiento. Con este principio económico comenzó la decadencia del vapor en beneficio, primero del diésel y más tarde desemboca en la electrificación de las líneas. Además, debido a que la energía eléctrica no produce emisiones, contribuye a la sostenibilidad del medio ambiente. Así mismo, y para adecuarse a los distintos medios de propulsión, el medio ha sufrido numerosas transformaciones, tanto en la modernización de las vías como en la señalización. Por ello, se han logrado que en trenes de alto recorrido además de que se mantenga un tráfico frecuente y regular, se haya aumentado la velocidad llegando en nuestro país actualmente a sobrepasar los 300km/h. [2]

De cara al futuro, se han realizado estudios en los que se demuestra que la adherencia de las ruedas de acero sobre los raíles disminuye notablemente a velocidades superiores a los 350km/h, por lo que la seguridad impone un límite que hay que salvar. La esperanza reside en una tecnología que permita que el tren levite, para así poder alcanzar los 500km/h, ya que los trenes no son frenados por la fricción de los carriles, sino que se desplazan sobre ellos sin tocarlos. [2], [1]

Este sistema de levitación magnética permite radios de curvas mucho menores y pendientes muy superiores a mayores velocidades, lo que se traduce en unos costes menores en la obra civil necesaria, además de que ya no se precisa una línea de catenaria. El único inconveniente que presenta, es que la inversión inicial es mucho mayor. [1]

Por el momento, esta técnica se emplea en una única línea comercial en Shanghái, circulando a una velocidad máxima de 430km/h, aunque en España se pretende utilizar un par de líneas de prueba en las proximidades de Madrid. [1]

En la Tabla 1 se muestra la evolución del ferrocarril en España:



**Tabla 1: Resumen de la evolución del ferrocarril en España[2], [1]**

Tipo de tracción	Fuente de energía	Ancho de vía	Potencia desarrollada	Velocidad máxima (km/h)	Época
<b>Vapor</b>	Carbón, madera, gasoil,...	Nacional	Hasta 2000CV	90	1848-1961
<b>Diésel</b>	Gasóleo	Nacional	Hasta 3400CV	200	1931-2014
<b>Eléctrico</b>	Electricidad	Nacional	Hasta 7614CV	220	1907-1996
<b>Eléctrico Alta Velocidad</b>	Electricidad	Nacional-Internacional	Hasta 11965CV	350	1992-2014
<b>Levitación</b>	Electromagnetismo	Internacional	Hasta 26648CV	580	1984-2011

### 2.1.2 La tracción eléctrica en España

El primer tramo de línea de vía ancha electrificada en España fue el tramo Gergal-Santa Fe, del ferrocarril Linares-Almería, en 1911. Para su electrificación se eligió el sistema de corriente trifásica de 500 V y 25 Hz. La línea aérea estaba constituida por dos hilos de contacto de cobre y la tercera fase la constituía el carril. Más tarde, en 1963, se electrificaría la línea hasta Almería. Para el recorrido de esta línea se utilizaron cuatro locomotoras con equipo eléctrico suizo. [2]

En el año 1925 se inaugura la electrificación del Puerto de Pajares en respuesta a la gran dificultad de la explotación de la línea de tracción a vapor, debido al difícil y abrupto trazado que representaba la línea durante su recorrido. A partir de este punto se seguirán electrificando más líneas a lo largo de todo el territorio español.

Paralelamente a las electrificaciones en vías de ancho normal se realizaba este proceso en las líneas de vía estrecha. La primera de todas fue el tramo Sarria-Barcelona en 1905, para seguir con los años venideros electrificando nuevas líneas, hasta llegar a tener un total de 300km de vía estrecha totalmente electrificados antes del estallido de la Guerra Civil. [2]

En el año 1941 se constituye la RENFE, planteándose introducir la tracción eléctrica a mayor escala y potenciar las electrificaciones. En 1946 se aprueba un extenso Plan de Electrificación en el que se especifica que las nuevas electrificaciones debían

hacerse a 3000V, excepto las de Miranda-Alsasua y Bilbao que se realizaron a 1500V para dar continuidad a las líneas electrificadas ya existentes. [1]

La elección de 3000V en la electrificación pretendía conseguir una mayor economía en las instalaciones una vez superadas las dificultades para conseguir material a la nueva tensión. [2], [3]

Hasta la década de los cincuenta no se materializarían las primeras inauguraciones a 3000V, realizándose dos electrificaciones con carácter provisional a 1500 V: Barcelona-Mataró en 1948, para conmemorar el centenario del primer ferrocarril en España y el tramo Torres-Branuelas en 1949. Estas electrificaciones se transformarían más tarde a 3000V. [2]

De 1945 a 1984 se lleva a cabo el proceso de cambio de tensión de 1500 a 3000V quedando únicamente electrificada a 2500V la línea Bilbao-Portugalete. También de 1954 a 1968 se electrificaron unos 2500km de vía nueva.

En 1972 el gobierno aprueba el Plan de Electrificación que plantea electrificar 2322km entre 1975 y 1977. Así se llega a la década de los noventa con una total de unos 6300km de vía electrificada por RENFE. [2]

## **2.2 Electrificación ferroviaria**

### **2.2.1 Introducción**

Las primera líneas electrificadas utilizaban la corriente continua junto con motores serie en los trenes, pero este sistema tenía una gran desventaja que los trenes tenían que ser alimentados con un nivel de tensión de electrificación bajo, lo que producía en unas prestaciones reducidas y unos conductores con secciones elevadas. Pero ya en esta primera época se realizaron algunos ensayos para introducir la corriente alterna en el sistema de electrificación. También se estudió la posibilidad de independizar la tensión de electrificación de la tensión de utilización, con una transformación acoplado a los trenes. [3], [1]

Posteriormente y en algunos países se implementó la electrificación en corriente alterna a baja frecuencia y distinta a la utilizada en las redes públicas, pues permitía la utilización de motores de tracción simples. La electrificación a la frecuencia de 16.7 Hz se utilizó en diversas líneas en Alemania, y hacia 1912 se adoptó la electrificación a 15 kV y 16.7 Hz como un estándar en Alemania y países cercanos.

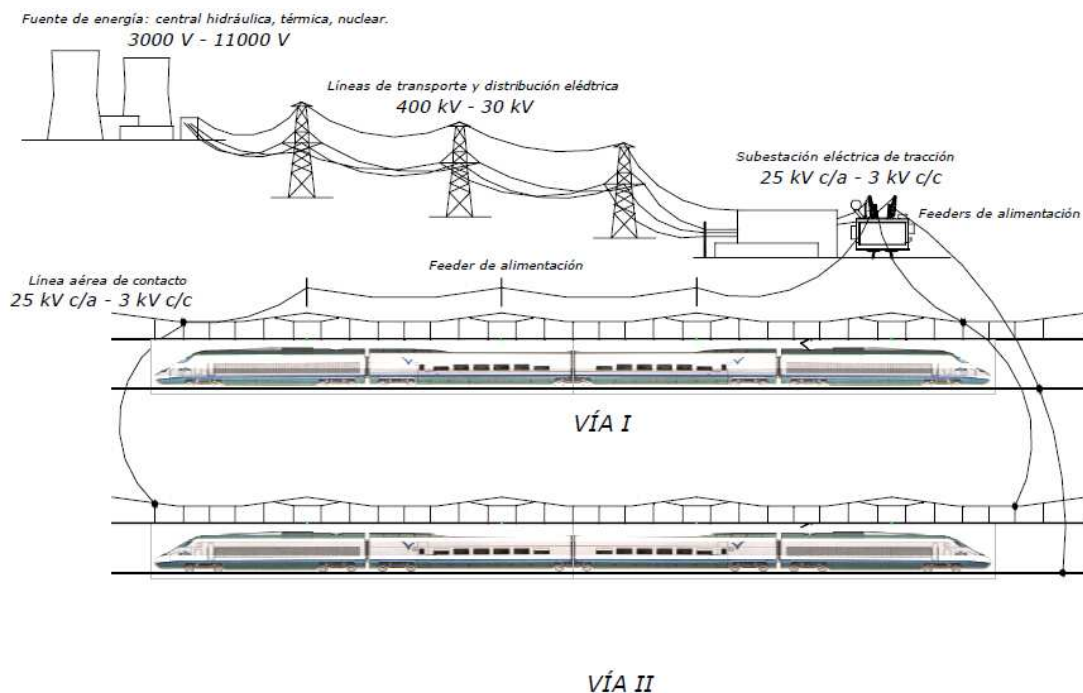
El desarrollo y la aplicación de la electrónica de potencia permitieron la utilización de la frecuencia industrial en los sistemas electrificados en corriente alterna. Así, hoy los nuevos sistemas de electrificación en corriente alterna operan habitualmente a las frecuencias de 50 o 60 Hz, dependiendo de los países. [3], [2]

Se entiende por electrificación ferroviaria el conjunto de las instalaciones necesarias para un sistema de tracción eléctrica.

En un sistema de electrificación ferroviario pueden considerarse los elementos fundamentales siguientes [3], [6]:

- Fuentes de energía o centrales de generación de energía eléctrica.
- Líneas eléctricas de transporte en alta tensión.
- Subestaciones de tracción eléctrica, tanto para sistemas de corriente alterna como continua.
- Componentes propios del material rodante motor, principalmente pantógrafos y motores eléctricos de tracción.

En el esquema de la Figura 1 se representa la disposición de los elementos anteriores en el sistema eléctrico ferroviario, así como sus tensiones eléctricas nominales de funcionamiento más frecuentes.



**Figura 1: Elementos fundamentales de un sistema de electrificación ferroviario. [2], [3], [4], [6]**

### 2.2.2 Estructura

Desde un punto de vista eléctrico, la línea de ferrocarril se divide en tramos eléctricamente separados los unos de los otros mediante tramos sin alimentación los cuales reciben el nombre de "zonas neutras". Es recomendable colocar las zonas neutras en terrenos lo más llanos posibles, de tal forma que el tren no pierda demasiada

velocidad en el tramo sin tensión y pueda moverse por la propia inercia que lleva el material rodante. [5], [2]

Cada uno de estos tramos es alimentado desde la red trifásica de alta tensión a través de una subestación de tracción eléctrica. Normalmente, una misma subestación de tracción suele alimentar a dos de estos tramos, llamados cantones, a partir de cada uno de los transformadores de potencia. Definimos cantón como cada uno de los tramos de la línea separado eléctricamente del otro. [5], [2]

Si un tren circula con varios pantógrafos subidos y éstos se encuentran conectados eléctricamente, la distancia que ha de haber entre los dos más lejanos tiene que ser menor que la longitud de la zona neutra pues de lo contrario se podría conectar las catenarias de diferentes fases produciendo un cortocircuito. Un valor aproximado de la longitud de zona neutra en alta velocidad es de 400m, según el valor indicado en las Especificaciones Técnicas de Interoperabilidad (ETI's). [5], [2]

En la actualidad los sistemas de corriente continua no necesitan zonas neutras, pudiéndose conectar las subestaciones de tracción en paralelo.

Antiguamente en España se realizaba una alimentación en corriente continua de 1500V se dio el caso de líneas férreas en las que coexistieron ambas tensiones teniendo también que proyectar zonas neutras o "zonas de separación de tensiones".

Es importante mencionar que en la línea de alta velocidad Madrid-Sevilla han existido dos zonas de separación de tensiones en las inmediaciones de las estaciones de Madrid-Puerta de Atocha (aún hoy operativa) y Sevilla-Santa Justa (desaparecida hace tiempo). Estas zonas separan tensiones de 3000Vcc (tensión de las estaciones) y 25 kV en corriente alterna (tensión de la línea). [5], [2]

### **2.3 Subestaciones de tracción**

Las subestaciones de tracción son las instalaciones en las que se realiza la conexión de los tramos de la electrificación a la red trifásica de transporte. En ellas se realiza la transformación de tensiones desde los niveles de la red trifásica de transporte a los niveles de catenaria, con previa rectificación en los sistemas de corriente continua. [2]

La conexión de la subestación de tracción a la red trifásica correspondiente se realiza mediante una línea aérea que conecta la subestación de tracción a una subestación de transporte de la red. [2]

Normalmente las subestaciones de tracción presentan una topología en barra simple, Figura 2, la cual proporciona un coste inferior al de otras opciones, a la vez que proporciona una flexibilidad de operación suficiente a la subestación. No obstante, en

los casos en los que se alimente a varias líneas desde una misma subestación, es aconsejable el uso de otras topologías más complejas (en anillo o en barra). En algunos casos si se desea optimizar el espacio utilizado o por facilidades de mantenimiento o control, es posible reunir la subestación de tracción y la de transporte o distribución en una misma instalación. [2]

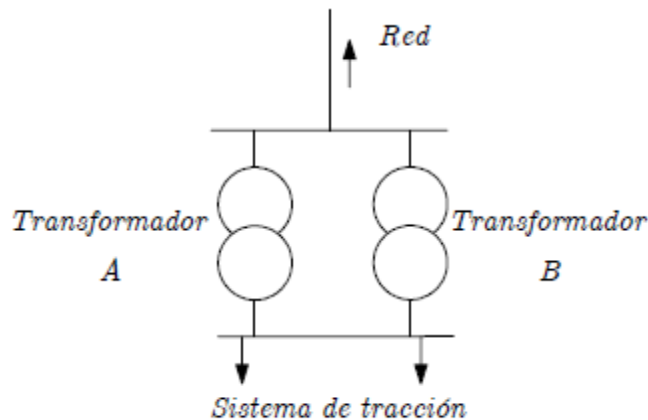


Figura 2: Esquema subestación con topología barra simple. [2], [5]

Las subestaciones de tracción se controlan desde el centro de control mediante un sistema de telemando, lo cual permite realizar maniobras en varias subestaciones de tracción de forma coordinada, adaptando la topología de la electrificación a las necesidades.

En la subestación de tracción se instalan además instrumentos de medida, así como los elementos de protección necesarios que garanticen la seguridad de la instalación frente a elevadas subidas de tensión o de corriente (cortocircuitos). [2]

En España hay dos tipos de estructura de electrificación ferroviaria:

- alimentación del material rodante con corriente continua
- alimentación del material rodante con corriente alterna

Estos tipos de estructuras conllevarán también a la existencia de dos tipos principales de subestaciones eléctricas de tracción:

- subestaciones eléctricas para sistemas de corriente alterna
- subestaciones para sistemas de corriente continua.

Los distintos niveles de tensión en cada uno de los sistemas presentan algunas variantes que afectan particularmente a la aparamenta y a los niveles de aislamiento utilizados los cuales son mayores en las subestaciones de corriente alterna. Normalmente el funcionamiento de una subestación de corriente continua es más complejo que el correspondiente a una subestación de corriente alterna. [2], [6].

### 2.3.1 Subestación de tracción de corriente continua

En la tracción ferroviaria es conveniente la corriente continua por una serie de condiciones ventajosas que reúne el motor serie: fuerte par de arranque, multiplicidad de marchas económicas, fácil regulación, etcétera.

Por otro lado, la corriente alterna presenta una serie de ventajas frente a la corriente continua: facilidad de producción, facilidad de modificación de sus tensiones con buen rendimiento y posibilidad de transportarla a grandes distancias con pérdidas prácticamente despreciables. [2]

Para combinar las ventajas de ambos tipos de energía eléctrica se instalan convenientemente repartidas a lo largo de la línea ferroviaria, subestaciones rectificadoras que, tomando la energía alterna de las líneas de distribución y transporte, la convierten en corriente continua que es dirigida a las líneas aéreas de contacto del ferrocarril (a través de los feederes de alimentación) siendo captada por el material rodante mediante sus pantógrafos. De esta forma, dentro de una subestación de tracción de corriente continua se destacan dos instalaciones claramente diferenciadas, [2]:

- **Subestación trifásica de corriente alterna.** Es una subestación trifásica alimentada por la red de corriente alterna que forma parte del mismo conjunto constructivo que el de la propia subestación de tracción. La propiedad y competencia de explotación y mantenimiento corresponde al gestor del ferrocarril y como cliente del suministrador dispondrá de los equipos de medida de energía para facturación. Los elementos fundamentales que son necesarios en la subestación trifásica de tracción son:
  - 1) Aparamenta de potencia: interruptores, seccionadores, transformadores
  - 2) De medida y protección, pararrayos autoválvulas, etcétera.
  - 3) Transformadores de potencia especiales para rectificación.
  - 4) Sistemas de servicios auxiliares en baja tensión alterna.
  - 5) Sistema rectificador–batería para mando y control.
  - 6) Sistemas de control de protección y medida.
  - 7) Sistemas de telemando y teleseñal.
- **Subestación de tracción de corriente continua.** La subestación de tracción propiamente dicha es la encargada de suministrar energía al material rodante por medio de la línea aérea de contacto. Los elementos necesarios en la subestación de corriente continua son:

- 1) Rectificadores de potencia: Es el elemento principal de las subestaciones de continua. Los rectificadores son convertidores estáticos de energía, cuya misión consiste en realizar la conversión de la corriente alterna que sale del transformador en corriente continua, mediante diodos de silicio. Estos diodos además de ser de considerable potencia están refrigerados por radiadores de calor de aluminio. La rectificación se consigue con diodos de silicio, a través de dos puentes trifásicos en serie.
- 2) Aparataje unipolar de potencia para corriente continua: interruptores, seccionadores, transductores para medida y protección, pararrayos autovalvulares, etcétera. Todos estos elementos forman los conjuntos de entrada a los grupos rectificadores, salidas de alimentación a feederes, etcétera.
- 3) Sistemas de puesta a tierra y vigilancia de la misma.
- 4) Sistemas de comprobación de fallo de catenaria.
- 5) Sistemas de control integrado, protección y medida.
- 6) Sistemas de telemando y teleseñal.

### 2.3.2 Subestación de tracción de corriente alterna

La distribución es prácticamente la misma que para el caso anterior. Obviamente ahora no existe conversión de corriente alterna a corriente continua, sino que la propia tensión alterna absorbida de la red es transformada a otros valores de tensión menores también en sistema alterno. De nuevo se pueden diferenciar dos instalaciones, [2]:

- **Subestación trifásica de alimentación.** A diferencia de la subestación trifásica de alimentación del caso continuo, la cual pertenecía al gestor del ferrocarril, aquí la subestación trifásica de alimentación forma parte de un conjunto constructivo independiente. La propiedad y competencia de explotación y mantenimiento corresponde a la empresa suministradora. De nuevo, el gestor del ferrocarril dispone de los equipos de medida para facturación. Los elementos necesarios de la subestación trifásica son:
  - 1) Aparataje de potencia: interruptores, seccionadores, transformadores de medida y protección, pararrayos autoválvulas en caso de sobretensión, etcétera, que Red Eléctrica de España (REE) o la empresa suministradora considere imprescindibles para la seguridad del suministro y calidad del servicio.
  - 2) Sistema de coordinación de protecciones y telemando necesarios para la explotación de elementos comunes.
- **Subestación de tracción.** Al igual que en el sistema continuo, la subestación de tracción suministra la energía a los trenes. El elemento principal del recinto es el transformador de potencia reductor de tensión, el cual establece la existencia de dos circuitos eléctricos independientes a través de sus dos devanados (pueden ser más de dos), cada uno de los cuales con su aparataje propia. Se tiene por

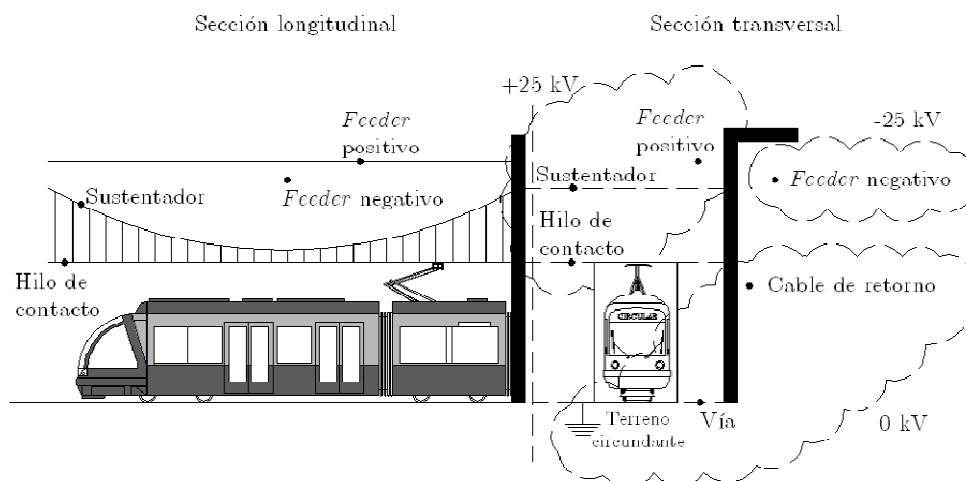
tanto un circuito eléctrico con muy alto nivel de tensión (MAT), 400 KV, o alto nivel de tensión (AT), por lo general 220 ó 132 KV, que se encuentra conectado al primario del transformador y que suele ir formado por aparellaje bipolar de potencia para corriente alterna (interruptores, seccionadores, transformadores de medida y protección, etcétera.).

El circuito eléctrico del devanado secundario será el de tracción propiamente dicha. El nivel de tensión tendrá por lo general unos valores de 25 ó 50 KV a una frecuencia industrial de 50 Hz. Los elementos que dispone este circuito serán los mismos que en los otros casos [2]:

- 1) Aparellaje monopolar o bipolar de alimentación al feeder de catenaria (se verá en el siguiente punto), así como apartamento de enlaces o acoplamiento de barras y para servicios auxiliares (por ejemplo, iluminación de la propia instalación).
- 2) Sistemas de control de protección y medida.
- 3) Sistemas de puesta a tierra y vigilancia de la misma.
- 4) Sistemas de telemando.

## 2.4 Circuito de tracción

Se suele denominar la catenaria o circuito de tracción al conjunto de conductores que es necesario instalar a lo largo de la línea para realizar el transporte de la energía eléctrica... Los conductores habituales en un circuito de tracción se muestran en la Figura 3.



**Figura 3: Configuración del sistema de tracción. [5]**

Dentro de los conductores que están a tensión positiva (catenaria), encontramos los siguientes [5]:



- 1) Hilo de contacto o línea aérea de contacto, que es el conductor en el que el pantógrafo hace contacto. Este conductor debe estar en una superficie paralela a la vía, para facilitar la captación de corriente. Se suelen emplear conductores de cobre.
- 2) Sustentador, que es el conductor que se diseña para soportar el peso del hilo de contacto a través de las péndolas. Se suelen emplear conductores de cobre.
- 3) *Feeder* positivo, que se añade como conductor de refuerzo sólo en los casos en que es necesario. Su uso permite reducir la impedancia, y aumenta el límite de corriente admisible de la catenaria. Se suelen emplear conductores de aluminio con alma de acero.

Como conductores de neutro, se encuentran [5]:

- 1) Carriles, raíles o vías, que además de servir de punto de apoyo del tren, sirven de captadores de las corrientes que salen de los trenes. Dichos conductores son de acero.
- 2) Cables de retorno, que se usan como refuerzo de las vías. Debido a su menor impedancia, recogen la mayor parte de las corrientes de retorno, alejándolas de las vías. De este modo es posible reducir las perturbaciones que las corrientes de retorno pueden producir en algunos sistemas de señalización que también emplean las vías. Se suelen emplear conductores de aluminio con alma de acero.

Como conductor negativo, en sistemas de corriente alterna duales, se tiene el feeder negativo, que se usa para configurar el circuito de retorno de las corrientes.

Debido a que gran parte del retorno de corriente se realiza por el feeder negativo, permite reducir las perturbaciones electromagnéticas. Se suelen emplear conductores de aluminio con alma de acero.

## 2.5 Sistemas de electrificación

La diferencia de los distintos tipos de electrificación se realiza a partir del tipo de corriente suministrada al material móvil:

- Electrificación en corriente continua:
  - 750V
  - 1500V
  - 3000V
- Electrificación en corriente alterna.
  - 16.5 Hz

- 50 Hz

En España, las tensiones de electrificación para líneas de larga distancia son de 25 kV en corriente alterna y 3.000 V en corriente continua.

### **2.5.1 Sistemas de electrificación en corriente continua**

Las líneas de alimentación derivan directamente de la red eléctrica nacional, siendo acondicionada y transformada la tensión de alimentación en la subestación de tracción.

El principio de diseño está basado en la utilización del mejor motor de tracción existente en el momento de su desarrollo (el motor de corriente continua), condicionando al resto del sistema.

Las subestaciones están formadas por grupos rectificadores, y espaciadas aproximadamente entre 1.5 y 6 km para sistemas de metro y tranvía que utilizan tensiones de 750 V y 1500V, dependiendo del tráfico y del perfil de la vía, y entre 10 y 20 km para tensiones de 3000V. [2], [5]

Como la potencia demandada por la tracción y las bajas tensiones de alimentación obliga a tener elevadas intensidades de suministro, la línea aérea de contacto debe tener una sección elevada.

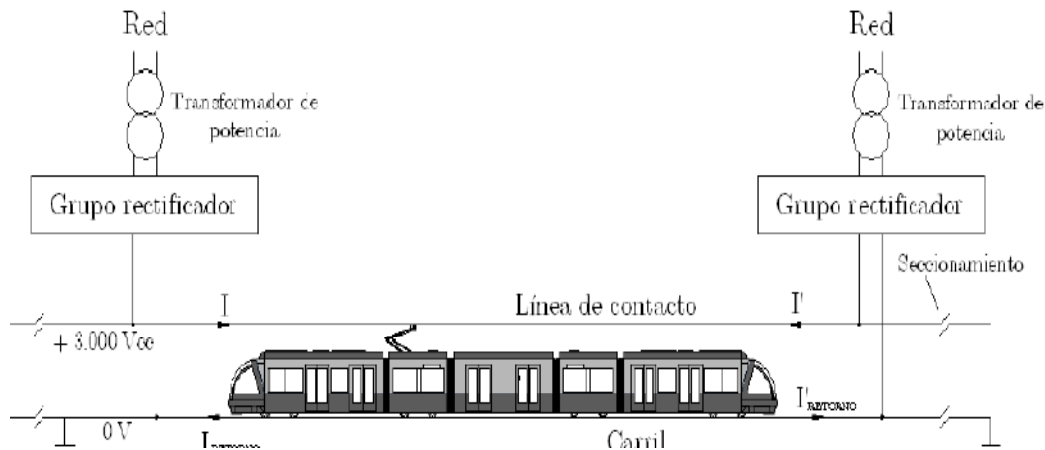
#### **2.5.1.1 Sistema 1x3000 Vcc**

El sistema 1x3000 Vcc es el sistema más simple y comúnmente utilizado en líneas convencionales en España [7]. Como su nombre indica está alimentado por una única línea aérea de contacto de 3000 Vcc. El inconveniente que tiene es de las intensidades de circulación y de las importantes caídas de tensión que resultan. [2], [5]

Para mejorar estas características se suele recurrir en la actualidad a las siguientes soluciones [2]:

- La utilización del feeder positivo.
- En tramos de doble vía, la conexión en paralelo de la catenaria de ambas vías.
- La instalación de nuevas subestaciones intermedias.

En los casos en que la utilización de feeder positivo o a la conexión en paralelo de las vías no sea suficiente, se debe recurrir a la tercera solución que consiste en la disminución de la distancia entre subestaciones. Esta solución no siempre es aplicable dependiendo de la disponibilidad de conexión a la red eléctrica de la compañía suministradora.



**Figura 4: Esquema sistema electrificación en corriente continua. 1x3000 Vcc. [2], [5]**

En este sistema, la catenaria está seccionada en tramos o cantones eléctricos, definidos por el seccionamiento de la línea. Cada cantón está alimentado por dos grupos transformadores rectificadores de tracción, como se puede ver en la Figura 4. Estos rectificadores son unilineales y están basados en diodos. La alimentación de la línea es bilateral, o sea que el tren recibe su corriente de las dos subestaciones que le rodean. [2], [5]

El retorno de corriente se realiza mayoritariamente a través de los carriles.

### 2.5.1.2 Sistema 2x3000 Vcc

A día de hoy está estudiando la implementación de este sistema ya que permite aumentar la distancia entre subestaciones respecto al sistema convencional, que para el caso de las líneas convencionales en España es de 1x3000 Vcc. [5]

El sistema 2x3000 Vcc se encuentra en fase de experimentación, y su desarrollo ha sido fomentado por la necesidad de una solución alternativa en tramos de alta frecuencia de circulación y fuerte demanda energética, y donde las soluciones convencionales son difícilmente implementables. En este sentido, no se trata de un sistema de electrificación propiamente dicho. [2]

Por cada tramo de línea, el sistema se completa con, al menos, un convertidor continua/continua. Gracias a este, una parte de la energía es transportada a una tensión el doble que la tensión de catenaria. Esto hace que, en algunas secciones del circuito, la corriente sea más baja que en la solución clásica de refuerzo mediante feeder positivo, las caídas de tensión son minimizadas y el rendimiento mejora. [2], [5]

La característica más importante que cabe destacar del sistema 2x3000 Vcc es que el feeder negativo es llevado a un potencial diferente que la catenaria y su alimentación se realiza a través de nuevos grupos transformador-rectificador instalados en la subestaciones existentes. La corriente retorna por el feeder negativo y, parcialmente, por el carril. [2], [5]

El resultado es que el material móvil de las líneas electrificadas a 2000 Vcc podrá trabajar indistintamente en los dos sistemas indicados: 1x3000 Vcc y 2x3000 Vcc. [2], [5]

### 2.5.1.3 Comparación de los sistemas de 1x3000 Vcc y de 2x3000 Vcc

En la tabla 2 veremos una comparación entre los dos sistemas de electrificación de corriente continua.

**Tabla 2: Comparación de 1x3000 Vcc y 2x3000 Vcc. [2], [5]**

	1x3000 Vcc	2x3000 Vcc
<b>Líneas de alimentación</b>	Tensión $\leq 66$ kV No se producen desequilibrios en la red	Tensión $\leq 66$ kV No se producen desequilibrios en la red
<b>Subestaciones</b>	Simple con 1 ó 2 grupos rectificadores dodecafásicos	Complejas con 1 ó 2 grupos rectificadores dobles( $\pm 3$ kV) Salidas feeder con doble circuito
<b>Distancia entre subestaciones</b>	10 a 20 km	20 a 30 km
<b>Equipamientos especiales</b>	No necesarios	Extra rápidos con capacidad de corte ante defectos entre la catenaria y el feeder negativo Equipos convertidores CC/CC
<b>Composición catenaria</b>	Sustentador de línea aérea de contacto y 1 hilo de contacto Feeder positivo	Sustentador de línea aérea de contacto y 2 hilos de contacto Feeder positivo-Feeder negativo
<b>Protecciones</b>	Riesgo de corrosión estructuras metálicas enterradas	Riesgo de corrosión en estructuras metálicas enterradas
<b>Robustez y fiabilidad del sistema</b>	Sistema con gran número de instalaciones en funcionamiento	No existen instalaciones que puedan dar información sobre la robustez y fiabilidad de este sistema

Una vez analizados los dos sistemas de electrificación en corriente continua a 1x3000 Vcc y 2x3000 Vcc, se llega a la conclusión de que para una línea de alta

velocidad no es técnicamente posible el empleo de la corriente continua a 1x3000 Vcc. Algunos de los motivos son los siguientes [2]:

- La tensión en continua no puede proporcionar la potencia suficiente a desarrollar por el material tractor.
- Las secciones de catenaria exigidas serían enormes.
- Se requerirían pantógrafos con mesilla muy superior a la actual que los harían muy pesados.
- La separación entre subestaciones debería ser muy pequeña.
- Si la línea ferroviaria es de gran longitud tendría grandes pérdidas.
- Gran número de instalaciones en funcionamiento.

Así como también se descarta el uso del sistema 2x300 Vcc por [2]:

- Desconocerse su robustez y su fiabilidad.
- La dificultad del suministro de equipos con los requisitos técnicos necesarios, así como sus posibles inconvenientes.

### 2.5.2 Sistemas de electrificación en corriente alterna

Como resultado de la elevada potencia que demandan los trenes de alta velocidad, es necesario alimentar la catenaria con la máxima tensión posible al objeto de reducir la corriente demandada por los trenes. [2]

La normativa europea ferroviaria (ETI) establece como valores usuales de diseño 15 kVca y 25 kVca de tensión de alimentación al material rodante. La electrificación en corriente alterna a 25 kVca es la más utilizada en líneas de ferrocarril de alta velocidad [8].

No obstante, en Alemania se sigue alimentando las líneas a 15 kVca. La frecuencia industrial usual es de 50 Hz, aunque en algunas líneas de alta velocidad en Japón y Corea del Sur se emplean los 60 Hz. [2]

Por lo general el sistema de electrificación monofásico de corriente alterna consta de [2]:

- Alimentación de las subestaciones de tracción mediante dos fases del sistema trifásico de la red de transporte de alta tensión primaria. Preferiblemente a tensión eléctrica igual o superior a 220 kV.
- Sistema de subestaciones equipadas con transformadores con regulación automática de tensión de salida a catenaria en función de la carga monofásica y por fluctuación de la tensión primaria.
- Alimentación de catenaria en corriente alterna monofásica con tensión de 25 kV respecto al carril y frecuencia industrial de 50 Hz.

- Instalación de puestos de puesta en paralelo de las líneas aéreas de contacto, en el caso de doble vía.
- Cada sección de línea aérea de contacto, alimentada por una subestación, se aísla eléctricamente de la subestación colateral mediante una zona neutra de separación entre fases eléctricas, que se suele ubicar equidistante de aquellas.

El sistema de electrificación ferroviaria para el desarrollo de la alta velocidad plantea una serie de problemas, derivados de la elevada potencia requerida y de la captación de la corriente. [2]

En cuanto a la elevada potencia instalada requerida [2]:

- Cuanta más velocidad de circulación, mayor potencia necesaria.
- Potencia total instalada por tren 10-12 MW.
- La velocidad efectiva de circulación es prácticamente la permitida por la potencia instalada.

En cuanto a la elevada corriente requerida [2]:

- La necesidad de optimizar el contacto entre el pantógrafo y la catenaria y, por tanto la necesidad de una línea aérea de contacto de reducida masa lineal.
- Binomio potencia demandada-límite de corriente de circulación; solo satisfecho por los sistemas de electrificación ferroviaria con tensiones de alimentación elevadas.

Las siguientes tecnologías en sistemas de electrificación a 25 kV son las alternativas que existen en la actualidad a la corriente continua [2]:

- Electrificación monofásica 1x25 KV simple.
- Electrificación monofásica 1x25 KV con cable de retorno.
- Electrificación bifásica 2x25 KV.

El sistema 1x25 kV fue el predominante en los inicios de la electrificación a 25 kVca y 50 Hz. Como referencia sirva la empresa SNFC, que electrificó la línea LGV Sud-Esta (Paris-Lyon) con este sistema. En España, se tiene el precedente de la línea de alta velocidad Madrid-Sevilla también a 1x25 kVca. [2]

Con el paso del tiempo, este sistema ha ido dejando paso al 2x25 kV, hasta llegar a ser la tendencia predominante en Europa en la actualidad, debido a las ventajas en términos de reducción de las corrientes circulantes en catenaria (disminución de las pérdidas de potencia y de las caídas de tensión) y de reducción de las perturbaciones electromagnéticas generadas en el entorno. [2]

### 2.5.2.1 Electrificación a 16.7 Hz

Los sistemas de electrificación a 16,7 Hz se utilizan en países como Alemania, Austria, Suiza, Noruega y Suecia.

La tensión monofásica 15 kV a frecuencia 16.7 Hz se obtiene a partir de generadores monofásicos, que suelen montarse combinados con motores trifásicos de 50 Hz, con lo que la frecuencia de la red monofásica será un tercio de 50 Hz, es decir 16.7 Hz. [3]

Dependiendo de las tipologías de las máquinas eléctricas empleadas, podrán ser convertidores rígidos o elásticos. [3]

La alimentación a las subestaciones de tracción se pueden realizar de forma centralizada a través de redes monofásicas, pudiendo elevarse a una tensión mayor, e instalándose en las subestaciones de tracción transformadores monofásicos reductores, o mediante generación descentralizada. [3]

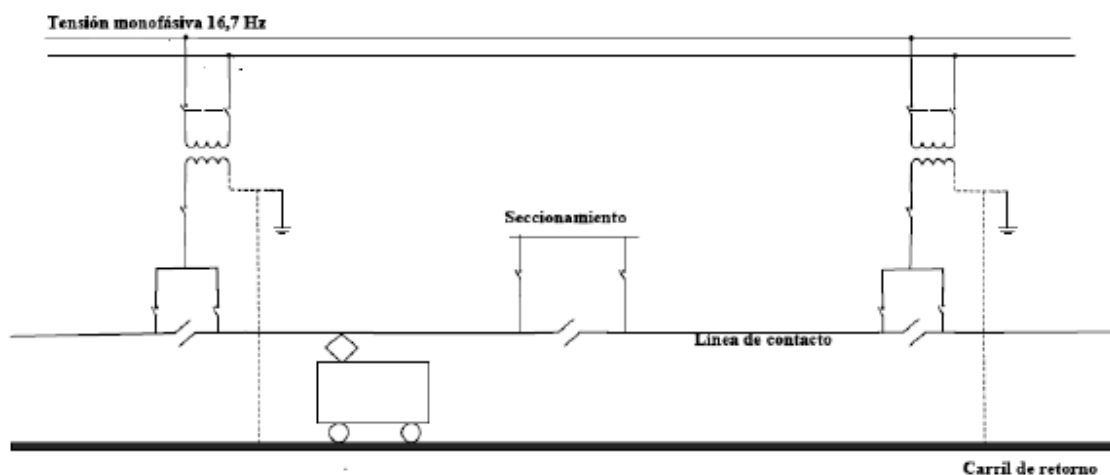


Figura 5: Esquema del sistema de 15 kV a 16,7 Hz. [3]:

En la Figura 5 se puede observar como las subestaciones de tracción se conectan en paralelo con las subestaciones adyacentes formando un esquema similar a la electrificación en corriente continua. [3]

### 2.5.2.2 Electrificación a 50 Hz

La primera experiencia sobre la electrificación a 50 Hz se realizó en Höllentalbahn (Alemania) aproximadamente en 1940. Pero hay que esperar hasta principios de los años 80 para el desarrollo de las líneas de trenes de alta velocidad con la inauguración de la línea París- Lyon (Francia). [3]

La energía necesaria para los sistemas de electrificación a 25 kV y 50 Hz [3] se obtiene de las redes trifásicas de distribución o transmisión de energía. La demanda de

energía monofásica sobre la red trifásica causa desequilibrios en la tensión y la corriente en la red trifásica. Estas tensiones desequilibradas pueden provocar serios efectos sobre el resto de consumidores. Así, para minimizar estos efectos existen unos valores máximos permitidos sobre el desequilibrio provocado por las subestaciones de tracción monofásicas. [3]

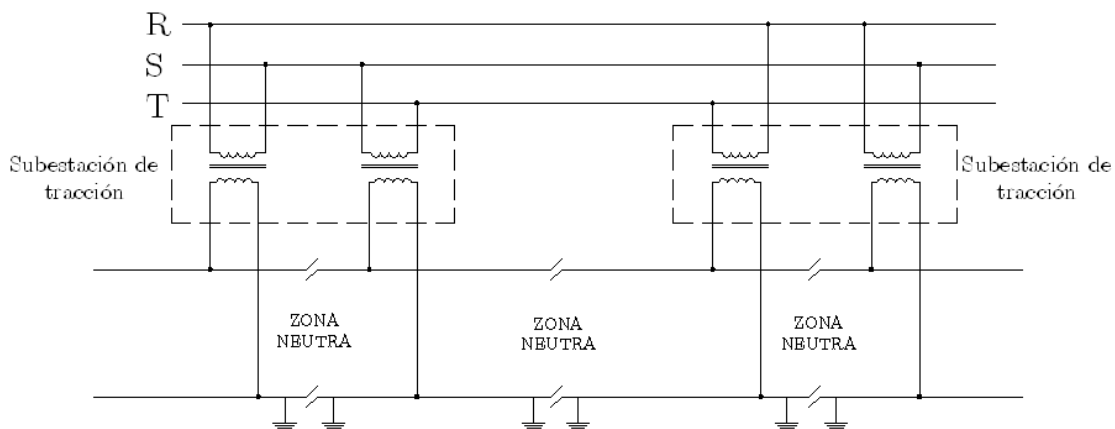
En la práctica, se realiza una permutación en las fases de la red trifásica en las distintas alimentaciones monofásicas de las subestaciones de una línea. Sin embargo, esta permutación comprometerá la operación de la línea, pues será necesario incorporar separaciones de fases en los límites de alimentación de cada subestación. [3]

Dentro de los sistemas electrificados en corriente alterna a frecuencia industrial el 1x25 kV fue el predominante en sus inicios y poco a poco ha sido sustituido por el sistema 2x25 kV que actualmente es el más común en las líneas de alta velocidad en Europa. [3]

#### 2.5.2.2.1 Sistemas 1x25 kV

El sistema 1x25 kVca simple se caracteriza por disponer de subestaciones de tracción con transformadores monofásicos de relación AT/25 kV, conectados a una red eléctrica de alta tensión, debido a la necesidad de una alta potencia de cortocircuito y una alta fiabilidad en el suministro. Típicamente se conectan a redes de 132 kV, 220 kV ó 400 kV. [5]

La catenaria está seccionada en tramos o cantones eléctricos, al igual que sucede en los demás sistemas de alimentación. El objetivo es que cada cantón pueda ser alimentado por uno de los dos transformadores de potencia instalados en cada SET, conectándolos a una fase diferente a la de los cantones contiguos, tal y como se muestra en la Figura 6. De esta manera se intenta que el desequilibrio generado a la red de transporte sea el mínimo posible. [5]



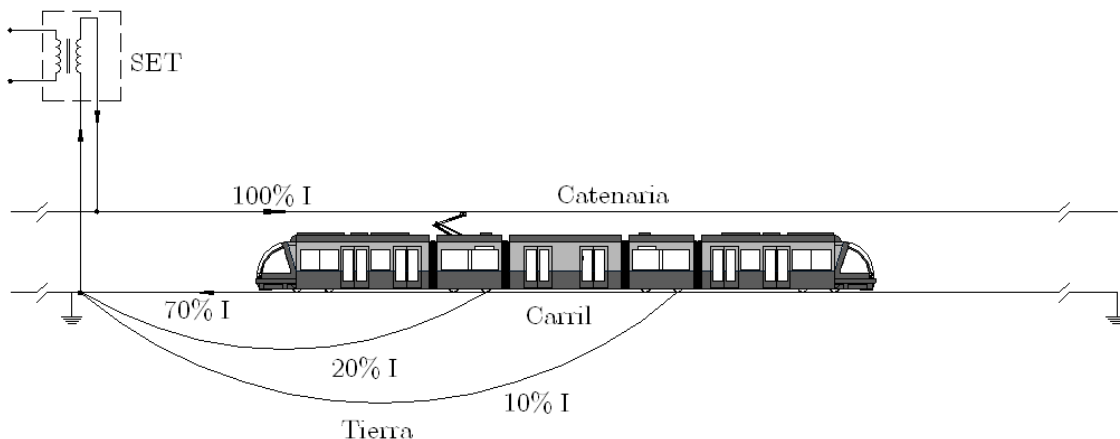
**Figura 6:** Conexión de subestaciones de un sistema de corriente alterna. [2], [5]



Este cantonamiento se realiza mediante la existencia, a la altura de cada SET, de una zona neutra de separación de fases (zona neutra de subestación), para evitar que el material móvil pueda cortocircuitar la catenaria con los pantógrafos delantero y posterior.

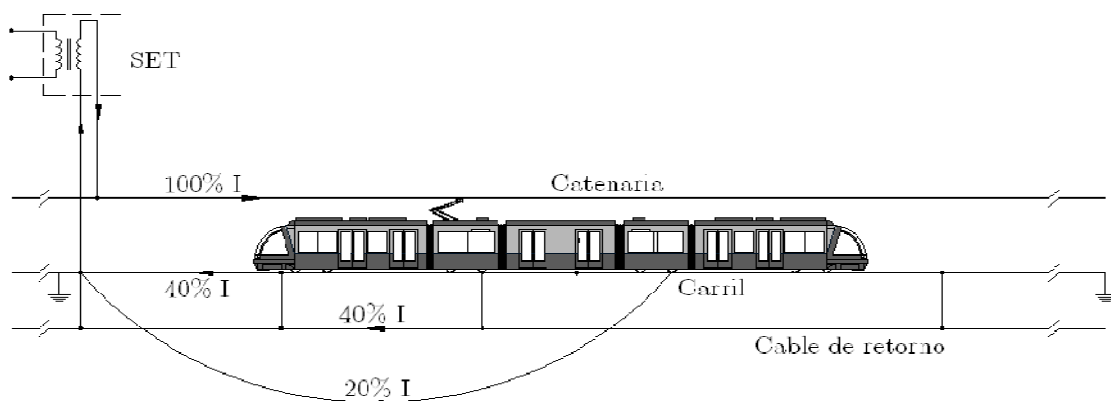
Igualmente, en los puntos intermedios entre dos SET, existirán zonas neutras para aislar eléctricamente los tramos alimentados por los diferentes transformadores de cada SET (zona neutra entre subestaciones). [5]

El retorno de corriente se realiza mayoritariamente a través de los carriles. Se calcula que del orden del 70 % de la corriente retorna por el carril, mientras que un 10 % lo hace por capas profundas del terreno y un 20 % por capas más superficiales, pudiendo penetrar nuevamente en los carriles. La distribución de corrientes se muestra en la Figura 7.



**Figura 7: Distribución de corriente en el sistema 1x25 kV. [2], [5]**

Con la finalidad de disminuir las perturbaciones conducidas de carácter resistivo y las electromagnéticas, se implementa un circuito con cable de retorno, tal y como se puede observar en la Figura 8. [2]



**Figura 8: Sistema 1x25 kV con cable de retorno. [2], [5]**

#### 2.5.2.2.2 Sistemas 2x25 kV

El sistema 2x25 kVca, también denominado sistema bifásico en corriente alterna, supone una sofisticación tecnológica importante respecto al 1x25 kVca, ya que soluciona algunos de sus principales inconvenientes, y se está convirtiendo en la opción más utilizada a nivel internacional. [5]

Este sistema se caracteriza por la existencia de dos conductores, uno es la catenaria y el otro es el feeder negativo, destinados a la alimentación del material móvil, y de la vía. La tensión entre cada uno de estos conductores y la vía es de 25 kV, estando ambas tensiones desfasadas 180°. Para la alimentación del sistema se dispone de subestaciones de tracción (SET) con dos transformadores monofásicos iguales en cada una, cuyo primario de cada uno se conecta entre dos fases diferentes de la red eléctrica de alta tensión, 220 kV ó 400 kV. El secundario de los transformadores es de 55 kV y tiene una toma intermedia, resultando dos secundarios de 27,5 kV, estos valores superan a los valores teóricos de 50 kV y 25 kV para compensar las posibles caídas de tensión que se dan a lo largo de la línea. Una toma extrema se conecta a la catenaria y la otra al feeder negativo, mientras que la toma media se conecta a la vía. Esta conexión a la vía hace que en las tomas extremas aparezcan las tensiones comentadas anteriormente. [5]

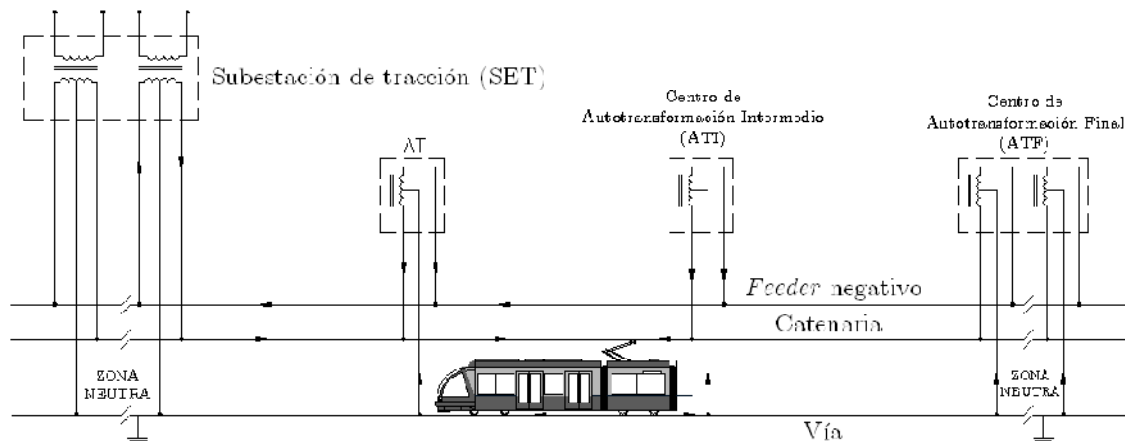
El material de tracción móvil (trenes, unidades tractoras, etc.) de las líneas electrificadas a 2x25 kVca está alimentado a una tensión nominal de 25 kV entre la catenaria y la vía. Por lo tanto, este material puede trabajar indistintamente en sistemas de 1x25 kVca ó 2x25 kVca. [5]

El cantonamiento (división de la línea en diferentes tramos-cantones) de los conductores y la vía tiene los mismos criterios que en el sistema 1x25 kVca.

Para que el sistema 2x25 kVca pueda funcionar, son necesarios una serie de centros de autotransformación distribuidos a lo largo del trazado, típicamente cada 10 ó 15 km. Las tomas de los autotransformadores se conectan a la catenaria y al feeder negativo, y la toma media a la vía y a tierra. [5]

El objetivo de estos centros de autotransformación es evitar el retorno de corriente por la vía en los tramos donde no circula el tren. Esto se consigue redistribuyendo las intensidades de retorno que penetran por la toma media de los autotransformadores hacia el feeder negativo, el cual se convierte así en el cable de retorno de la intensidad principal. [5]

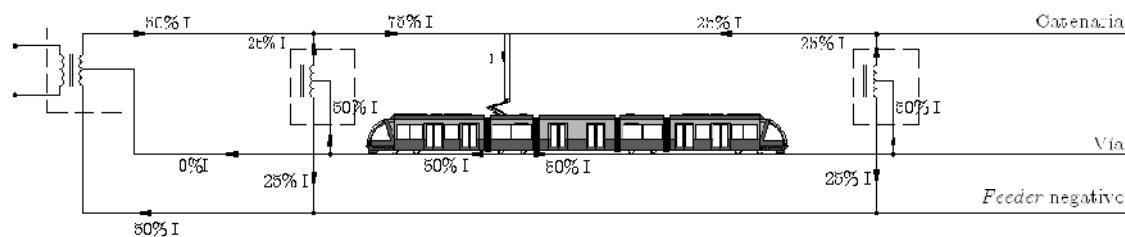
En la Figura 9 se presenta un cantón del sistema 2x25 kVca que se alimenta a partir de la SET y en el que se han conectado dos centros de autotransformación intermedios y uno final. [5]



**Figura 9: Sistema 2x25 kV. [2], [5]**

Estos centros de autotransformación serán de tipo “intermedio” cuando estén en un punto intermedio de un cantón, o de tipo “final” cuando se encuentren situados en el final, en la zona neutra entre subestaciones de tracción. [5]

La distribución de las intensidades se muestra en la Figura 10, donde se ha supuesto que tanto los transformadores de potencia de las SET, los autotransformadores como los conductores son ideales. [5]



**Figura 10: Distribución de intensidades del sistema 2x25 kV. [2], [5]**

En la Figura 10 se puede observar cómo la intensidad de retorno por el carril queda limitada al tramo comprendido entre los autotransformadores en los que se encuentra el tren. Los autotransformadores obligan a la intensidad a retornar por el feeder negativo en el resto de tramos hasta la SET. [5]

El sistema no es ideal sino que aunque el autotransformador distribuye la intensidad en dos partes prácticamente iguales, existe una pequeña desigualdad que viene originada por la caída de tensión en el arrollamiento, que se procura que sea muy pequeña, del orden del 1%. También debido a la impedancia de fuga de los devanados del autotransformador y al hecho que su potencia es limitada, la intensidad de tracción es suministrada también desde los autotransformadores distantes, lo que supone que circule corriente por los carriles en toda la sección de suministro eléctrico. Una parte de esa corriente pasará a tierra, que es la que causa problemas de inducción en las líneas de telecomunicaciones cercanas, aunque en menor medida que en el sistema 1x25 kVca. [5]

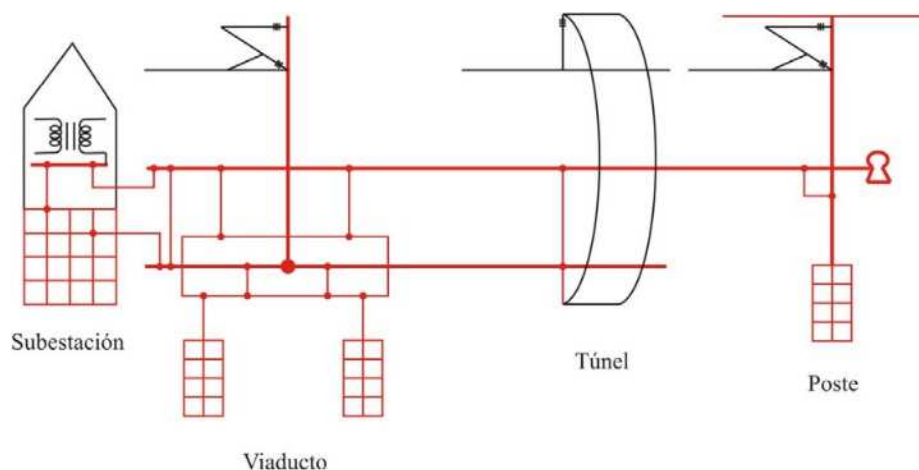
Otra apreciación importante es que el sistema funciona a 50 kV, por lo que a igualdad de potencia demandada por el material móvil, la corriente que circula por la catenaria se reduce a prácticamente la mitad que en el sistema de 1x25 kVca, por lo que la caída de tensión también se ve reducida aproximadamente a la mitad y las subestaciones de tracción pueden distanciarse aproximadamente el doble que en el sistema de 1x25 kVca. [5]

### 2.5.2.3 Circuito de retorno en corriente alterna

Como ya se sabe, la corriente en los sistemas de tracción ferroviaria fluye desde las líneas aéreas de contacto (catenaria, sustentador y feeder de acompañamiento, en su caso) hacia los pantógrafos de los vehículos, atraviesa las locomotoras y vuelve a la subestación a través del circuito de retorno, formado por los carriles de rodadura y el terreno.

En los sistemas de corriente alterna, el circuito de tracción tiene mayor longitud, en comparación con los sistemas de corriente continua, debido a las menores pérdidas en la catenaria. Este hecho unido, a unos mayores niveles de tensión y de potencia consumida por los vehículos, hace que las caídas de tensión entre carril y tierra sean significativamente mayores que en corriente continua. [4]

Con el fin de limitar las elevadas diferencias de potencial que se establecerían entre los carriles y el terreno, es necesario conectar eléctricamente el circuito de retorno a tierra. Para ello, se unen los carriles a las tomas de puesta a tierra de las instalaciones cercanas y de la propia subestación como se observa en la Figura 11.



**Figura 11: Esquema eléctrico en explotaciones ferroviarias de A.C. [4]**

Como resultado de esta interconexión entre las diferentes infraestructuras del trazado ferroviario, se puede producir una circulación de corrientes a través sus puestas a tierra, generando importantes niveles de interferencias electromagnéticas, susceptibles de crear distorsiones en los equipos electrónicos. [4]

La diferencia con los sistemas de corriente continua, es que en los sistemas de corriente continua la existencia de corrientes vagabundas puede causar serios problemas de corrosión a las infraestructuras metálicas aledañas a la vía. Elementos tales como tuberías, postes metálicos, cimientos, refuerzos y sujeciones de acero, puentes o viaductos están claramente expuestos a tales procesos de degradación, con el consiguiente coste económico de mantenimiento y reposición que ello conlleva. Por esta razón, en explotaciones de DC debe existir una estricta separación entre el circuito de retorno y los sistemas de puesta a tierra. En consecuencia, ninguna parte del circuito de retorno de tracción tendrá conexión eléctrica directa con instalaciones, componentes o estructuras que estén puestas a tierra. [4]

#### 2.5.2.4 Las zonas neutras de la catenaria

Con el fin de equilibrar las cargas de las fases de las líneas de alimentación, la alimentación de las subestaciones de tracción se hace a través de diferentes fases eléctricas.

Por lo tanto, dos subestaciones de tracción contiguas no pueden estar en paralelo y es preciso establecer una zona sin tensión, denominada zona neutra, que separa ambas alimentaciones para que no se produzca un cortocircuito en la red de transporte y distribución eléctrica.

Las zonas neutras deben tener una longitud mínima de 400m según queda indicado en las Especificaciones Técnicas de Interoperabilidad (ETI's).

La posición de estas zonas suele coincidir con una vaguada en el terreno para disminuir la pérdida de velocidad al quedar el tren sin alimentación. [6]

#### 2.5.2.5 Comparación de los sistemas de 1x25 kV y de 2x25 kV

En la siguiente tabla veremos una comparación entre los dos sistemas de electrificación de corriente alterna.

**Tabla 3: Comparación de sistemas 1x25 kV y 2x25 kV. [5]**

	1x25 kV	2x25 kV
Potencia instalada	2x30 MVA (habitualmente)	2x60 MVA (Normalmente)
Condiciones de conexión	Necesidad de línea eléctrica de tensión elevada ( $\geq 132$ kV) o con suficientes puntos de conexión	Posibilidad de líneas de transporte relativamente alejadas o con pocos puntos de conexión, pero con potencias de cortocircuito elevadas ( $\geq 220$ kV)
Configuraciones constructivas	Simplicidad de subestación  Necesidad de conductor de retorno y/o Booster para disminuir la corriente de retorno,	Complejidad de subestaciones  Los autotransformadores aumentan las pérdidas en vacío

	1x25 kV	2x25 kV
	los cuales aumentan la impedancia implicando una disminución en la distancia entre subestaciones	La menor impedancia permite aumentar la distancia entre subestaciones
Desequilibrios en la red	Se reducen con la rotación de fases	Condicionados a la potencia de cortocircuito del punto de conexión  Se reducen con la rotación de fases
Potencial carril-tierra	Relativamente elevado	Relativamente elevado  Limitado al trayecto comprendido entre los autotransformadores donde está intercalado el tren
Perturbaciones inducidas por campos eléctricos	Se reducen poniendo a tierra los conductores susceptibles de ser afectados	Prácticamente nulas, por la oposición entre fases de tensión de la línea aérea de contacto y feeder negativo
Perturbaciones inducidas por campos magnéticos	Relativamente elevadas, paliadas en parte por el conductor de retorno	Reducidas por la oposición entre fases y limitado al tramo entre los autotransformadores entre los que se encuentra el tren

A partir de la tabla anterior podemos deducir que el sistema 2x25 kV resuelve la mayor parte de los inconvenientes del sistema de 1x25 kV.

En la actualidad el sistema 2x25 kV se ha convertido en la tendencia predominante en Europa, debido a la reducción de las corrientes circulantes en catenaria y por la reducción de las perturbaciones electromagnéticas generadas al entorno. [5]

## 2.6 Eficiencia de la energía eléctrica ferroviaria

Los equipos de tracción actuales pueden realizar un frenado regenerativo devolviendo la energía obtenida en la frenada a la red a través de la catenaria.

En las subestaciones de tracción de corriente continua la energía obtenida en el frenado no puede ser devuelta a la red, por lo que solo puede ser reutilizada si hay algún

tren circulando, mientras que en la de corriente alterna no hay problema en devolver esta energía a la red.

Para tratar de reutilizar la mayor parte de la energía que proviene de frenado regenerativo hay diferentes alternativas como subestaciones de corriente alterna y equipos de acumulación de energía, ya sean en tierra o embarcados en los trenes.

#### **2.6.1 Frenado regenerativo**

El sistema de frenado regenerativo se basa en la transformación de la energía cinética, a partir de su inercia, en energía eléctrica para abastecer los sistemas auxiliares del tren como son las comunicaciones, la calefacción o la iluminación, y volcar el resto de energía eléctrica a la catenaria.

De este modo, si en ese momento y en el mismo tramo, hay otro tren demandando energía, este aprovechará la energía que ha regenerado el primero. Sin embargo, si no hay más vehículos que necesiten esa energía en el tramo cubierto por la subestación el propio funcionamiento del sistema la encaminará hasta esta, donde se transformará y será inyectada en la red de transporte.

La cantidad de energía regenerada está limitada a la capacidad de absorción de ésta por parte de la línea o en el caso de la utilización de almacenadores de energía, al estado de carga de las baterías o los capacitores.

Para los casos en que se utilicen los almacenadores de energía, puede tener lugar un efecto no regenerativo cuando; un vehículo conectado a la red suministradora de energía devuelva energía y los almacenadores estén cargados completamente, siendo necesario en este caso contar con un freno reostático que absorba el exceso de energía.

#### **2.6.2 Sistemas acumuladores de energía**

A continuación se muestran diferentes técnicas de acumulación de energía con aplicación en el ámbito ferroviario:

##### **Volante de inercia**

Se trata de un disco metálico, que comienza a girar cuando se le aplica un par motor, una vez este girando se frena cuando se somete a un par resistente.

Los volantes de inercia están constituidos por los siguientes elementos:

- El rotor: es el elemento central del volante de inercia, donde se almacena la energía. Está formado por el eje central y la masa cilíndrica
- Los cojinetes: son cojinetes de levitación magnética que eliminan las pérdidas por rozamiento

- El motor-generador: convierte la energía cinética en eléctrica y viceversa. Puede estar situado en paralelo con el disco o concéntrico a la masa circular. Gira solidario al rotor.
- Recipiente: es el recipiente de protección que evita el acceso a los elementos móviles, se efectúa en vacío para eliminar el rozamiento aerodinámico.

La gran ventaja de este tipo de acumuladores minimizan las pérdidas por fricción y la energía se mantiene durante horas o incluso días. Por contra tiene el inconveniente las pérdidas en la entrada y salida de energía debido al rendimiento eléctrico del motor. Además, precisa de un sistema de control complejo y de muchos auxiliares (convertidores AC/DC, refrigeración líquida, bomba de vacío, etc.), lo que aumenta el peso de los equipos.

En la Figura 12 se muestra como ejemplo un sistema flywheel Magnet Motor en el que pueden observarse sus diferentes partes. [12]

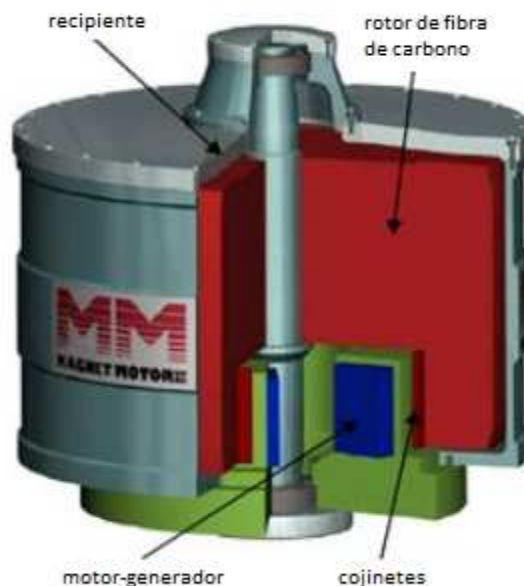


Figura 12: Volante de inercia. [12]

### Sistemas de acumulación por baterías

A priori parece una solución simple ya que solamente se trata de incorporar un sistema de baterías de plomo o de níquel - cadmio, conexionando en serie un número tal de vasos que la tensión total del conjunto sea la de la Red de tracción. [11]



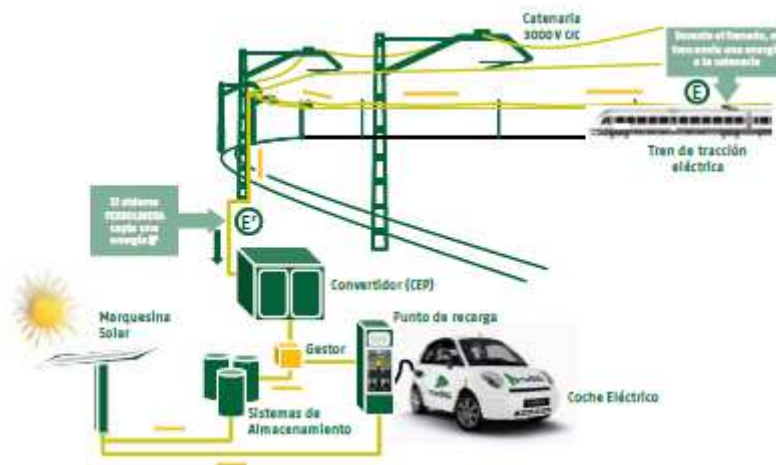
Las baterías, no obstante y como es conocido, tienen limitaciones de potencia (Intensidad) en las cargas y descargas, además su elevado peso y volumen, solo permiten un número determinado de ciclos de trabajo. Todo ello, unido a los exigentes requerimientos de su instalación (ventilación de cuartos, instalaciones eléctricas antideflagrantes, etc.) ha hecho abandonar esta iniciativa. [11], [12].

Es un nuevo sistema patentado por ADIF para la recarga de vehículos eléctricos. La energía eléctrica suministrada al vehículo es la energía generada por el tren cuando frena.

De la energía que se genera en el proceso de frenado eléctrico, una parte es aprovechada por otros trenes y otra se disipa en forma de calor en las resistencias que lleva el tren en el techo. Lo que hace el sistema Ferrolinera es captar la energía de frenado sobrante para cargar eléctricamente las baterías de los coches eléctricos.

El sistema está formado, como observamos en la Figura 13, por los siguientes elementos principales:

- Convertidor electrónico de potencia para conexión a catenaria
- Sistema de almacenamiento, empleado para optimizar los ciclos de carga
- Punto de recarga para carga lenta y rápida.



**Figura 13: Conexión de vehículos eléctricos a la catenaria del ferrocarril. [13]**

Se ha dotado a la Ferrolinera de una planta de generación de energía eléctrica fotovoltaica, de forma que exista otras fuentes de energía renovables.

### **Acumuladores de energía mediante bobinas superconductoras**

El acumulador de energía mediante bobinas conductoras o SMES (Superconductive Magnetic Energy Storage) se trata de un sistema muy moderno de almacenamiento de energía y sobre el que no se dispone de gran cantidad de información. Estos acumuladores de energía solo están disponibles en aplicaciones de

electro-medicina (resonancia magnética) y en equipos de alimentación ininterrumpida para ordenadores. En el ámbito de los ferrocarriles este tipo de acumuladores de energía permanecen en un nivel puramente teórico. [11]

### **Acumuladores de energía con condensador de doble estrato**

Estos acumuladores están basados en la tecnología de condensadores de doble estrato que se ha optimizado para su uso como medio acumulador, ofreciendo ventajas importantes como tecnología para acumuladores. Junto a su alto rendimiento, destaca principalmente su capacidad de cambios de carga con dinámica elevada y excelente aptitud para el trabajo cíclico. [11]

A ello hay que añadir que los condensadores de doble estrato, a diferencia de los acumuladores de energía rotativos, están totalmente exentos de mantenimiento y que su capacidad de acumulación de energía puede escalarse o bien conectarse en cascada. Este sistema consta de una unidad acumuladora de condensadores que se conecta a la red de tracción de corriente continua a través de un convertidor. [11]

### **Acumuladores de energía con supercondensadores**

Las principales ventajas técnicas de los supercondensadores son [11]:

- Acumulación de grandes cantidades de energía
- Alta velocidad de recarga
- Gran capacidad de ciclado
- Pueden proporcionar corrientes de carga altas
- No necesita mantenimiento
- Trabaja en condiciones de temperatura muy adversas
- No presenta en su composición elementos tóxicos

Por otro lado, tienen como principal desventaja que todavía dependen de los avances que se produzcan en la tecnología desarrollada por los investigadores y aplicada por las empresas especializadas a nivel mundial. [11]

La utilización de este tipo de acumuladores supone una inversión media - alta, aunque una solución sencilla, y muy apropiada para aplicaciones ferroviarias tal y como se observa en la Figura 14, con su utilización en tranvías. [11]



**Figura 14: Tranvía de Metro Sevilla con tecnología de supercondensadores**

## Capítulo 3: Dimensionamiento de una S/E de tracción 1x25.

### 3.1 Datos de partida

Se va a proyectar una subestación compuesta por dos grupos transformadores de 20.000 kVA ( $U_{cc}=10\%$  referido al 100% de potencia nominal) cada uno. En condiciones degradadas se pueden acoplar ambos transformadores a través de la barra general de Media Tensión.

Se ha previsto que los transformadores de tracción admitan las siguientes sobrecargas:

- 20% durante 2 horas
- 50% durante 15 minutos
- 100% durante 10 minutos

Además, se instalarán dos transformadores de 160 kVA ( $U_{cc}=4\%$ ) cada uno, para servicios auxiliares estando en condiciones normales ambos transformadores trabajando.

Se considerará como potencia nominal de la subestación la potencia total instalada y las sobrecargas nominales de la subestación la suma de las sobrecargas nominales de cada transformador integrante.

A efectos de dimensionamiento de cables y embarrados se considerará la potencia total instalada colgada en cada circuito y la suma de las sobrecargas exigidas para cada transformador integrante.

Características de la instalación:

- Tensión nominal..... 220  $\pm 8\%$  kV
- Potencia de cortocircuito..... (10.000 ÷ 14.000) MVA
- Intensidad de defecto a tierra..... 16.100 A
- Conexión neutro..... Rígido a Tierra

## 3.2 Cálculo de potencias nominales y de cortocircuito

### 3.2.1 Intensidades nominales

#### 3.2.1.1 Grupo de tracción

##### **Intensidad en alta tensión**

La intensidad en el primario del transformador monofásico viene definida por la expresión:

$$I_p = \frac{S}{U_p} \quad [1]$$

siendo:

- S      Potencia del transformador [VA]
- $U_p$     Tensión primaria de la red [V]
- $I_p$       Intensidad nominal en el primario [A]

##### **Intensidad en media tensión**

La intensidad en el secundario del transformador viene definida por la expresión:

$$I_s = \frac{S}{U_s} \quad [2]$$

siendo:

- S      Potencia del transformador [VA]
- $U_s$     Tensión secundaria del transformador [V]
- $I_s$       Intensidad nominal en el secundario [A]

#### 3.2.1.2 Grupo de servicios auxiliares

Las intensidades nominales en el primario y en el secundario de servicios auxiliares vienen expresadas por las expresiones [1] y [2] respectivamente.

### 3.2.2 Intensidades de cortocircuito

#### Intensidad de cortocircuito en alta tensión

La intensidad de cortocircuito en el primario del transformador viene definida por la expresión:

$$I_{CCp} = \frac{S_{cc}}{U_p} \quad [3]$$

siendo:

$S_{cc}$  Potencia de cortocircuito de la red [VA]

$U_p$  Tensión primaria de la red [V]

$I_{CCp}$  Intensidad de cortocircuito primaria [A]

#### Intensidad en media tensión

La intensidad de cortocircuito en el secundario del transformador viene definida por la expresión:

$$I_{CCs} = \frac{S}{U_s \cdot U_{CC}} \quad \text{Para trafos no acoplados} \quad [4]$$

$$I_{CCs} = \frac{S}{U_s \cdot U_{CC}/2} \quad \text{Para trafos acoplados} \quad [5]$$

siendo:

$S$  Potencia del transformador [VA]

$U_s$  Tensión secundaria del transformador [V]

$I_{CCs}$  Intensidad de cortocircuito secundaria [A]

$U_{CC}$  Tensión de cortocircuito porcentual [p.u]

### 3.2.3 Datos resultantes

A continuación se muestran las intensidades nominales, sobrecargas e intensidades de cortocircuito obtenidos en cada uno de los bloques eléctricos en que se puede dividir el diagrama unifilar de la subestación:

**Tabla 4: Intensidades nominales, sobrecargas y cortocircuito**

DATOS RESULTANTES				
Bloque eléctrico	Intensidad Eléctrica		Ud.	Valor
GRUPOS POTENCIA	INTENSIDAD NOMINAL PRIMARIA	Mínima (Un +8% kV)	A	84,175
		Media (Un kV)	A	90,909
		Máxima (Un - 8% kV)	A	98,814
	INTENSIDAD NOMINAL SECUNDARIA	Mínima (Un +8% kV)	A	673,401
		Media (Un kV)	A	727,273
		Máxima (Un - 8% kV)	A	790,514
	SOBRECARGA PRIMARIO	120% (Un -8% Kv)	A	118,577
		150% (Un -8% Kv)	A	148,221
	SOBRECARGA SECUNDARIO	120% (Un -8% Kv)	A	948,617
		150% (Un -8% Kv)	A	1.185,771
	CORTO PRIMARIO TRAF0		Mínimo	33.800
			Máximo	39.679
	CORTO SECUNDARIO TRAF0 (Para trafos no acoplados)		Mínimo	6.691
			Máximo	7.855
	CORTO SECUNDARIO TRAF0 (Para trafos acoplados)		Mínimo	13.381
			Máximo	15.709
SERVICIOS AUXILIARES	INTENSIDAD NOMINAL	A.T	A	5,818
		B.T	A	17.391,3
	CORTO PRIMARIO TRAF0 S/A	Mínimo	A	147.200
		Máximo	A	172.800
SUBESTACION	INTENSIDAD NOMINAL	Mínima (Un +8% kV)	A	168,35
		Media (Un kV)	A	181,818
		Máxima (Un - 8% kV)	A	197,628
	SOBRECARGA	120% (Un -8% Kv)	A	237,154
		150% (Un -8% Kv)	A	296,442
	CORTO ENTRADA		Máximo	36.740
			Mínimo	26.243

### 3.3 Justificación de cables y embarrados

#### 3.3.1 Parque Intemperie de 220 kV

Tanto la compañía eléctrica suministradora como el administrador ferroviario determinan que el conductor utilizado en los embarrados de 220 kV es tipo RAIL. Esta justificación se debe a criterios de reducción de costes de mantenimiento y de materiales de repuesto. Las características técnicas del cable son las siguientes:

**Tabla 5: Datos de partida del cable RAIL**

NATURALEZA CONDUCTOR	Al-Cu-Fe	<b>AL</b>
SECCION ALUMINIO	mm <sup>2</sup>	<b>483,8</b>
SECCION ACERO	mm <sup>2</sup>	<b>33,42</b>
AISLAMIENTO		<b>DESNUDO</b>
INSTALACION		<b>AEREA</b>

**Tabla 6: Ficha técnica cable RAIL**

Características Físicas Cable	Unidades	Valor
DIAMETRO CABLE	mm	29,61
COEFICIENTE CORTO		0,093
CALOR ESPECIFICO (Ce)	Jul/(Kg °C)	896
COEFICIENTE TRANSMISION CALOR (a)	W/(m <sup>2</sup> °C)	11,7
RESISTIVIDAD (20°C)	μΩ cm	2,85
DENSIDAD	Kg/m <sup>3</sup>	2707
RESISTENCIA OHMICA (20°C) (R )	Ω/ Km	0,0589
MASA (M)	Kg/m	1,6
SUPERFICIE POR METRO (S)	m	0,09302
ALFA(α)= a*S/R	W/(°C Ω)	18.477,65
TAU(τ)= M*Ce/ (a*S)	seg	1.317,24

A partir de las siguientes fórmulas [25] calculamos los valores de la Tabla 7:

$$t_{90^{\circ}\text{C}} = \tau \cdot \ln \left[ \frac{I^2 - \alpha(T_i - T_{amb})}{I^2 - \alpha(90 - T_{amb})} \right] \quad [6]$$

$$t_{200^{\circ}\text{C}} = \frac{coef.corto^2 \cdot S^2}{I(kA)^2} \quad [7]$$



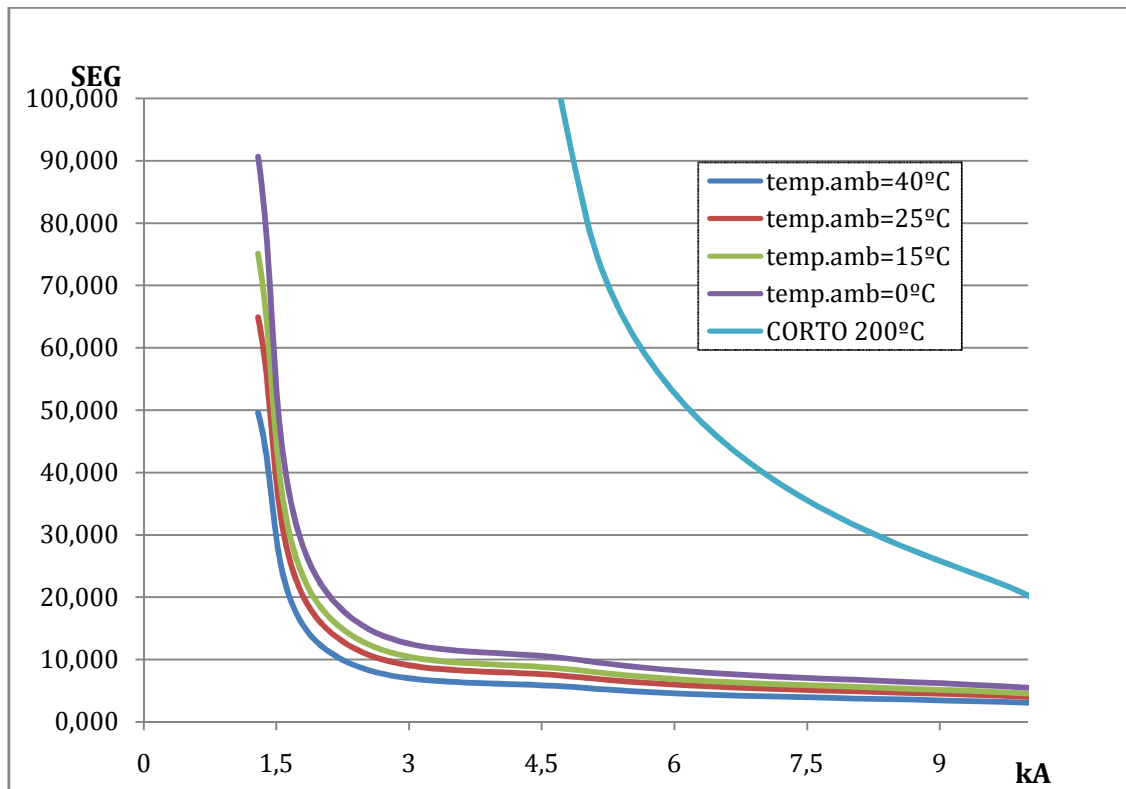
**Tabla 7: Capacidad de sobrecarga del cable RAIL**

INTENSIDAD (KA)	INTENSIDAD (A)	Tiempo hasta que alcanza 90 °C por sobrecarga (seg)				Tiempo hasta que el cable alcanza 200 °C por corto (seg)
		Ticable=Tamb				
		temp.amb = 40 °C	temp.amb = 25 °C	temp.amb = 15 °C	temp.amb = 0 °C	temp.amb = 40 °C
0,962	962	8.410,400				
1,096	1.096	1.930,907	11.688,084			
1,178	1.178	1.443,613	2.642,691	8.713,514		
1,29	1.290	1.067,093	1.685,016	2.355,793	9.631,547	
2	2.000	345,942	470,320	560,283	707,915	
5	5.000	49,601	64,853	75,121	90,673	
10	10.000	12,226	15,916	18,382	22,090	
15	15.000	5,420	7,050	8,138	9,772	
20	20.000	3,046	3,961	4,572	5,488	5,061
25	25.000	1,949	2,534	2,924	3,510	3,239
30	30.000	1,353	1,759	2,030	2,436	2,249
35	35.000	0,994	1,292	1,491	1,789	1,653
40	40.000	0,761	0,989	1,141	1,370	1,265
45	45.000	0,601	0,782	0,902	1,082	1,000
50	50.000	0,487	0,633	0,730	0,877	0,810

A partir de los resultados obtenidos en la Tabla 7 se puede observar que el conductor tipo RAIL soporta:

- 962 A es la intensidad máxima para la cual este cable no supera los 90 °C a una temperatura ambiente de 40 °C.
- 1.096 A es la intensidad máxima para la cual este cable no supera los 90 °C a una temperatura ambiente de 25 °C.
- 1.178 A es la intensidad máxima para la cual este cable no supera los 90 °C a una temperatura ambiente de 15 °C.
- 1.290 A es la intensidad máxima para la cual este cable no supera los 90 °C a una temperatura ambiente de 0 °C.

Estas intensidades son muy superiores a las intensidades a las que será sometido el cable instalado en la subestación proyectada tal y como se muestra en la Tabla 4.



**Figura 15:** Tiempo en que el cable RAIL alcanza 90°C (200 en corto) partiendo de la T°ambiente

Se puede observar en la Tabla 7 y en la Figura 15 que el cable es válido para esta instalación ya que soporta:

- 1.096 A de intensidad máxima permanente a una temperatura ambiente de 25 °C
- más de 900 A durante 2 horas a una temperatura ambiente de 25 °C
- más de 1.000 A durante 15 minutos a una temperatura ambiente de 25°C
- 38.200 A en más de 1 segundo a una temperatura ambiente de 25 °C

A continuación se calcula la tabla de tendido del embarrado teniendo en cuenta la disposición del embarrado general en el parque intemperie y que la subestación se ubicará en el entorno ferroviario de la ciudad de México DF.

**Tabla 8: Datos de partida de la tabla de tendido**

Características de la línea	Unidad	Valor
TENSIÓN NOMINAL	kV	230
NUMERO DE SERIES		1
ZONA		C
EDS	%	15
LONGITUD CADENA SUSPENSION	m	0
PRESION DEL VIENTO	kg/m <sup>2</sup>	50
COEFICIENTE SEGURIDAD CONDUCTOR		3
VANO	m	26
Características del cable	Unidad	Valor
DENOMINACIÓN		RAIL
DIAMETRO	mm	29,61
SECCIÓN	mm <sup>2</sup>	517,3
PESO	kg/m	1,6
MODULO ELASTICIDAD	Kg/mm <sup>2</sup>	7000
COEFICIENTE DILATACIÓN	10E-6 /°C	19,3
CARGA ROTURA	kg	11760

**Tabla 9: Datos intermedios de la tabla de tendido**

Características del cable	Unidad	Valor
PESO CABLE CON HIELO	kg/m	3,559
PESO CABLE CON VIENTO	kg/m	2,180
TENSIÓN MÁXIMA TRABAJO	kg	3920

### Tensiones

Para el cálculo de las tensiones aplicaremos la ecuación de cambio de condiciones:

$$t_2^2 [t_2 - (K - \alpha E (\theta_2 - \theta_1))] = \frac{a^2 p_2^2 E}{24 s^2} \quad [8]$$

donde:

$$K = t_1 - \frac{a^2 p_1^2 E}{24 s^2 t_1^2} \quad [9]$$

siendo:

- E: Módulo de elasticidad en kg/mm<sup>2</sup>
- $\alpha$ : Coeficiente de dilatación lineal por grado de temperatura
- a: Vano en metros
- s: Sección en mm<sup>2</sup>
- K: Constante
- $t_1, t_2$ : Tensiones en kg/mm<sup>2</sup>
- $\theta_1, \theta_2$ : Temperaturas en grados
- $p_1, p_2$ : Pesos aparentes en kg/m

Los subíndices 1 y 2 se refieren a cada una de las dos condiciones en las que se aplica la ecuación.

#### Flecha

La flecha es la distancia en vertical entre el punto más bajo del conductor y el punto de sujeción del mismo y viene definida por la expresión:

$$f = \frac{a^2 p}{8st} \quad [10]$$

siendo:

- f: Flecha en metros
- a: Vano en metros
- p: Peso aparente en kg/m
- s: Sección del cable en mm<sup>2</sup>
- t: Tensión en kg/mm<sup>2</sup>

Tabla 10: Tabla de tendido cable RAIL

TABLA DE TENDIDO PARA CONDICIONES INICIALES LIMITE																	
50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0	-5	-5+V	-5+H	-10+V	-10+H	-15	-15+H
Grados centígrados (sin sobrecarga o con presión del viento o con presión de hielo)																	
TENSION(KG)																	
419	471	538	636	776	973	1.216	1.505	1.821	2.147	2.483	2.819	2.850	2.938	3.202	3.275	3.507	3.585
FLECHAS(m)																	
0,323	0,287	0,251	0,212	0,174	0,139	0,111	0,090	0,074	0,063	0,054	0,048	0,065	0,102	0,058	0,092	0,039	0,084

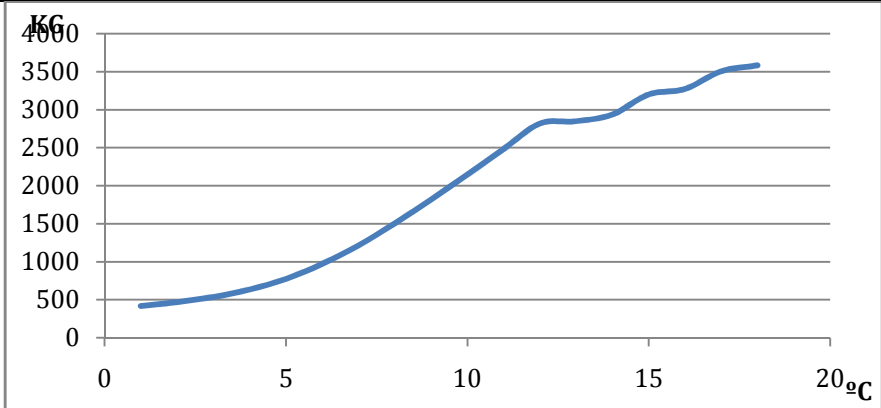


Figura 16: Tensión mecánica conductor fase

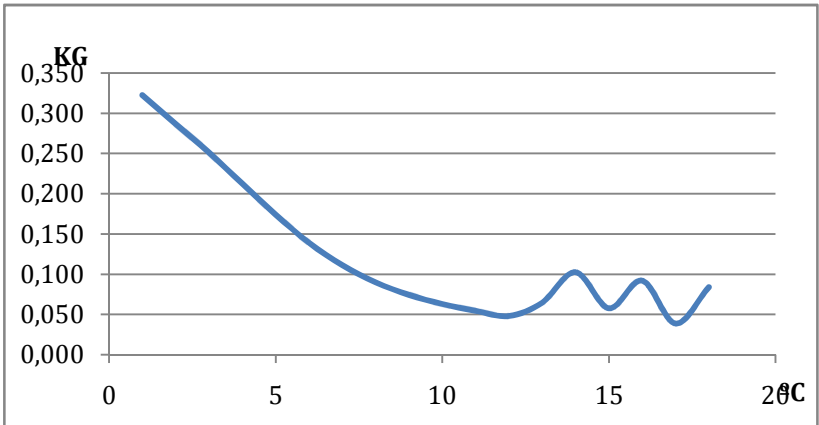


Figura 17: Flecha conductor fase

### 3.3.2 Parque de 25 kV

El administrador ferroviario determina que la salida de cada transformador de tracción se realice mediante un embarrado tubular 60/52 de cobre. Esta justificación se debe, igualmente, a criterios de reducción de materiales de repuesto, con la consiguiente reducción de costes de mantenimiento. Las características técnicas del cable son las siguientes:

**Tabla 11: Datos de partida del embarrado tubular 60/52**

NATURALEZA CONDUCTOR	Al-Cu-Fe	<b>CU</b>
SECCION	mm <sup>2</sup>	<b>703,6</b>
AISLAMIENTO	mm <sup>2</sup>	<b>DESNUDO</b>
INSTALACIÓN	-	<b>AEREA</b>

**Tabla 12: Ficha Técnica del embarrado tubular 60/52**

Características Físicas Cable	Unidades	Valor
DIAMETRO CABLE	mm	60
COEFICIENTE CORTO		0,142
CALOR ESPECIFICO (Ce)	Jul/(Kg °C)	383
COEFICIENTE TRANSMISION CALOR (a)	W/(m <sup>2</sup> °C)	6,4
RESISTIVIDAD (20°C)	μΩ cm	1,76
DENSIDAD	Kg/m <sup>3</sup>	8.954
RESISTENCIA OHMICA (20°C) (R )	Ω/ Km	0,025
MASA (M)	Kg/m	6,3
SUPERFICIE POR METRO (S)	m	0,1885
ALFA= a*S/R	W/(°C Ω)	48.256
TAU= M*Ce/ (a*S)	seg	2.000,08

Para la caracterización de intensidades soportadas por el embarrado tubular se han utilizado las ecuaciones 6 y 7.

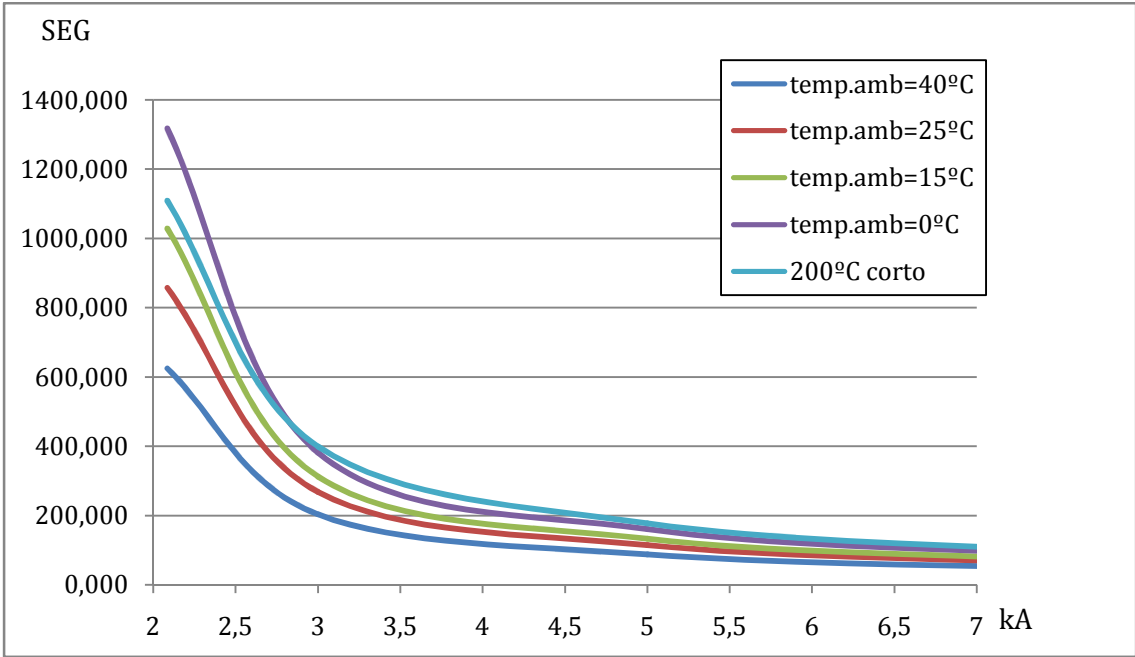
Tabla 13: Capacidad de sobrecarga del tubo 60/52 a 90°C

INTENSIDAD (KA)	INTENSIDAD (A)	Tiempo hasta que alcanza 90 °C por sobrecarga (seg)				Tiempo hasta que el cable alcanza 200 °C por corto
		Ticable=Tamb				(seg)
		Temp.amb = 40 °C	Temp.amb = 25 °C	Temp.amb = 15 °C	Temp.amb = 0 °C	Temp.amb = 40 °C
1,5534	1.553,4	18.338,202				4.136,774
1,7713	1.771,3	2.930,961	16.396,128			3.181,589
1,9025	1.902,5	2.196,977	4.028,873	18.755,670		2.757,903
2,084	2.084	1.621,918	2.561,955	3.583,631	25.024,037	2.298,439
3	3.000	624,218	857,039	1.028,818	1.317,778	1.109,139
5	5.000	202,993	268,138	312,778	381,663	399,290
7,5	7.500	87,686	114,760	133,015	160,713	177,462
10	10.000	48,850	63,740	73,729	88,807	99,822
12,5	12.500	31,126	40,559	46,873	56,380	63,886
15	15.000	21,564	28,079	32,434	38,984	44,366
17,5	17.500	15,820	20,591	23,777	28,567	32,595

A partir de los resultados obtenidos en la Tabla 13 se puede observar que el tubo 60/52 soporta:

- 1.553,4 A es la intensidad máxima para la cual este cable no supera los 90 °C a una temperatura ambiente de 40 °C.
- 1.771,3 A es la intensidad máxima para la cual este cable no supera los 90 °C a una temperatura ambiente de 25 °C.
- 1.902,5 A es la intensidad máxima para la cual este cable no supera los 90 °C a una temperatura ambiente de 15 °C.
- 2.084 A es la intensidad máxima para la cual este cable no supera los 90 °C a una temperatura ambiente de 0 °C.

Estas intensidades son muy superiores a las intensidades a las que será sometido el tubo instalado en la subestación proyectada, cumpliendo con las solicitudes mostradas en la Tabla 4.



**Figura 18: Tiempo en que el tubo 60/52 alcanza 90°C (200 en corto) partiendo de la Tª ambiente**

Se puede observar en la Tabla 13 y en Figura 18 que el tubo es válido para esta instalación ya que soporta:

- 1.771,3A de intensidad máxima permanente a una temperatura ambiente de 25°C.
- más de 1.700 A durante 2 horas a una temperatura ambiente de 25 °C.
- más de 2.800 A durante 15 minutos a una temperatura ambiente de 25°C.
- 15.071 A en más de 1 segundo a una temperatura ambiente de 25 °C.

El administrador ferroviario determina que la salida de cada transformador de tracción se realice mediante un cable aislado de cobre 3x300mm<sup>2</sup>. Esta justificación se debe, igualmente, a criterios de reducción de materiales de repuesto, con la consiguiente reducción de costes de mantenimiento. Las características técnicas del cable son las siguientes:

**Tabla 14: Datos del cable de cobre 3x300 mm<sup>2</sup>**

NATURALEZA CONDUCTOR	Al-Cu-Fe	CU
SECCION	mm <sup>2</sup>	300
AISLAMIENTO	mm <sup>2</sup>	XLPE 26/45 Kv
INSTALACIÓN	-	ENTUBADA



Tabla 15: Ficha Técnica cable de cobre 3x300 mm<sup>2</sup>

Características Físicas Cable	Unidades	Valor
DIAMETRO CABLE	mm	19,54
COEFICIENTE CORTO		0,142
CALOR ESPECIFICO (Ce)	Jul/(Kg °C)	383
COEFICIENTE TRANSMISION CALOR (a)	W/(m <sup>2</sup> °C)	5,7
RESISTIVIDAD (20°C)	μΩ cm	1,76
DENSIDAD	Kg/m <sup>3</sup>	8954
RESISTENCIA OHMICA (20°C) (R )	Ω/ Km	0,0587
MASA (M)	Kg/m	2,6862
SUPERFICIE POR METRO (S)	m	0,0614
ALFA= a*S/R	W/(°C Ω)	5.962,18
TAU= M*Ce/ (a*S)	seg	2.939,64

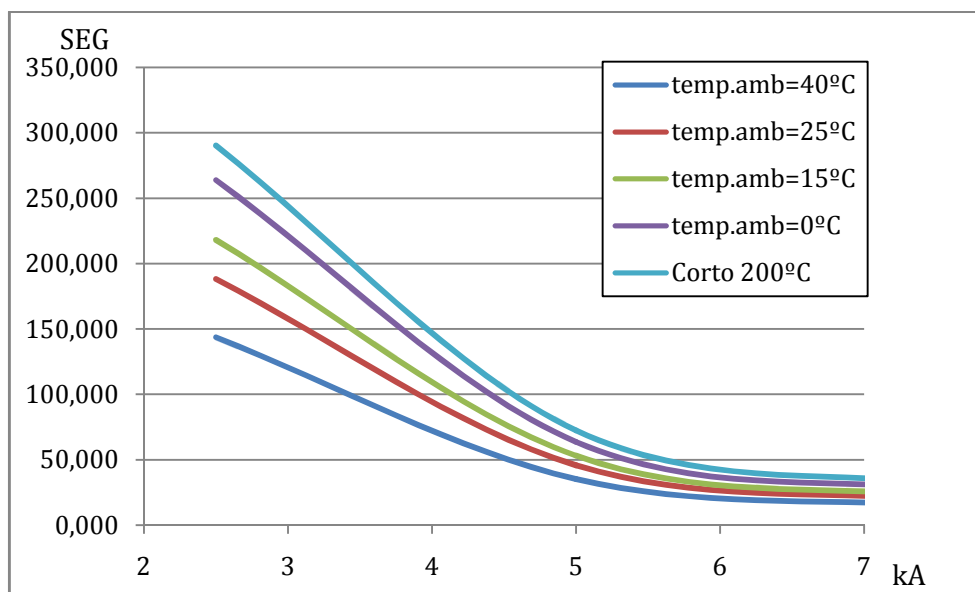
Tabla 16: Capacidad de sobrecarga del cable de cobre 3x300mm<sup>2</sup>

INTENSIDAD (KA)	INTENSIDAD (A)	Tiempo hasta que alcanza 90 °C por sobrecarga (seg)				Tiempo hasta que el cable alcanza 200 °C por corto (seg)
		Ticable=Tamb				
		temp.amb = 40 °C	temp.amb = 25 °C	temp.amb = 15 °C	temp.amb = 0 °C	temp.amb = 40 °C
0,547	547	16.479,196				6.065,192
0,623	623	4.295,712	19.088,898			4.675,662
0,669	669	3.224,306	5.906,166	20.655,317		4.054,777
0,733	733	2.379,108	3.755,644	5.248,235	19.559,252	3.377,624
2,5	2500	143,667	188,173	218,223	263,881	290,362
5	5000	35,264	45,926	53,056	63,783	72,590
7,5	7500	15,621	20,323	23,462	28,177	32,262
10	10.000	8,776	11,414	13,174	15,816	18,148
12,5	12.500	5,614	7,300	8,425	10,113	11,614
15	15.000	3,897	5,068	5,848	7,019	8,066
17,5	17.500	2,863	3,722	4,295	5,155	5,926

A la vista de los resultados obtenidos en la Tabla 16 se puede observar que:

- 547 A es la intensidad máxima para la cual este cable no supera los 90 °C a una temperatura ambiente de 40 °C.
- 623 A es la intensidad máxima para la cual este cable no supera los 90 °C a una temperatura ambiente de 25 °C.

- 669 A es la intensidad máxima para la cual este cable no supera los 90 °C a una temperatura ambiente de 15 °C.
- 733 A es la intensidad máxima para la cual este cable no supera los 90 °C a una temperatura ambiente de 0 °C.



**Figura 19:** Tiempo en que el cable 3x300mm<sup>2</sup> alcanza 90°C (200 en corto) partiendo de T<sup>a</sup> ambiente

Observamos en la Tabla 16 y la Figura 19 que el cable 3x300 mm<sup>2</sup> es válido ya que soporta:

- 1.869 A de intensidad máxima permanente a una temperatura ambiente de 25 °C
- más de 1.898 A durante 2 horas a una temperatura ambiente de 25 °C
- más de 3000 A durante 15 minutos a una temperatura ambiente de 25°C
- 15.071 A en más de 1 segundo a una temperatura ambiente de 25 °C

### 3.4 Cálculo de aisladores.

Según el artículo 24 del RAT el aislamiento requerido para una línea de tensión nominal de 220 kV debe ser:

- Tensión más elevada (T<sub>e</sub>) ..... 245 kV
- Tensión de ensayo al choque (T<sub>c</sub>) ..... 900 kV
- Tensión de ensayo a frecuencia industrial (T<sub>f</sub>) ..... 395 kV

### Aisladores utilizados

Para las cadenas de amarre se ha elegido un aislador del tipo Caperuza y Vástago y designación U 160 BS cuyas características son:

- Longitud línea de fuga ..... 380 mm
- Carga de rotura mecánica ..... 160 kN
- Peso neto aproximado ..... 6,3 Kg
- Paso nominal ..... 146 mm

### Cálculos eléctricos

Para conseguir un nivel de aislamiento de 25 mm/kV hará falta un número de aisladores que se calcula con la siguiente expresión:

$$n_a = \frac{N_v \cdot T_e}{L_{fa}} \quad [11]$$

donde:

- $n_a$ :      Número de aisladores
- $N_v$ :      Nivel de aislamiento
- $T_e$ :      Tensión más elevada
- $L_{fa}$ :      Longitud línea de fuga

El número de aisladores necesarios es de 17 aisladores.

### Cálculos mecánicos

#### Cálculos mecánicos de la cadena de suspensión

Según el artículo 3.4 de la ITC-LAT-07 se utilizará un coeficiente de seguridad mecánica no inferior a 3 para la cadena de aisladores.

Para el cálculo de las cargas normales, se considera el peso del conductor, la sobrecarga correspondiente a la zona y el peso de los aisladores. El peso del conductor en cada cadena de suspensión, calculado a partir del peso por unidad de longitud y del vano máximo, sumado al peso del manguito de hielo al que se forma alrededor del conductor es el siguiente:

$$P_{c \text{ amax}} = P_{c+h} \cdot a_{\text{max}} = 3,559 \cdot 26 = 92,534 \text{ Kg}$$

El peso de la cadena, considerando que el resto de la cadena pesa un 5% del peso de los aisladores es:

$$P_{cad} = (n_a \cdot P_a) \cdot 1,05 = 107,1 \text{ Kg}$$

Al tener que cumplir un coeficiente marcado por el Reglamento de Alta Tensión (RLAT) de 3, obtenemos la siguiente expresión:

$$\frac{Q_{r.aisl}}{g[P_{c+h} + (n \cdot P_a) \cdot 1,05]} > C_s \quad [12]$$

donde:

- Q<sub>r aisl</sub>: Carga de rotura del aislador en Kg, que es de 160KN.  
 g: Aceleración de la gravedad en m/s<sup>2</sup>.  
 P<sub>C+H</sub>: Peso combinado del conductor más el manguito de hielo en Kg.  
 n: Número de aisladores de la cadena, que son 17.  
 P<sub>a</sub>: Peso del aislador, que es de 6,3 Kg.

Sustituyendo datos en la fórmula anterior obtenemos un valor de 81,78 que es superior 3.

Para el cálculo de las cargas anormales, se considera el 50% de la tensión del conductor roto según el RLAT Para ello se emplea un coeficiente de seguridad mecánico en el conductor de 3, con lo que la tensión mecánica máxima se calcula mediante:

$$T_{max} = \frac{Q_r}{K_s} \quad [13]$$

donde:

- T<sub>max</sub>: Tensión mecánica máxima en Kg.  
 Q<sub>r</sub>: Carga de rotura del conductor, que corresponde con 8.624,49 Kg.  
 K<sub>s</sub>: Coeficiente de seguridad.

Con lo que obtenemos un valor de Tmax de 3.933,33 Kg. y el coeficiente de seguridad mecánica del aislador lo obtenemos a partir de:

$$C_s = \frac{Q_{r.aisl}}{g \cdot 50\% \text{ de } T_{max}} \quad [14]$$

donde obtenemos un valor de 8,3 que es superior a 3.

### Cálculo mecánico de la cadena de amarre

Para el cálculo de las cargas normales, se considera el peso del conductor, la sobrecarga correspondiente a la zona y el peso de los aisladores. En el caso de la cadena de amarre, se supondrá que el resto de elementos de la cadena representan el 20% del peso de los aisladores. Por lo tanto tendremos que verificar la siguiente ecuación:

$$\frac{Q_{r.aisl}}{g[P_{c+h} + (n \cdot P_a) \cdot 1,2]} > C_s \quad [15]$$

El resultado obtenido es de 73,86 que es superior a 3.

Para el cálculo de las cargas anormales, se considera el 100% de la tensión del conductor roto según el RLAT. Por tanto el coeficiente de seguridad mecánica del aislador es 4,1 que es superior a 3.

Por tanto, se ha comprobado que el aislador seleccionado cumple los requerimientos necesarios en cuanto a resistencia mecánica, tanto para las cadenas de suspensión como para las cadenas de anclaje.

Las características generales del aislador a utilizar están indicadas en la siguiente tabla:

**Tabla 17: Características de los aisladores**

Nivel de anticontaminación	Fuerte
Carga rotura mecánica (kN)	160
Modelo de catálogo	U 160 BS
Paso (mm)	146
Diámetro (mm)	280
Línea de fuga (mm)	380
Unión normalizada IEC 120	20
Tensión soportada a frecuencia industrial en seco (kV)	75
Tensión soportada a frecuencia industrial bajo lluvia (kV)	45
Tensión soportada a impulso de choque en seco (kV)	110
Tensión de perforación en aceite (kV)	130
Peso neto aproximado por unidad (Kg)	6,3
Embalaje nº unid/caja	6

### 3.5 Pararrayos autoválvula

#### 3.5.1 Pararrayos autoválvula de 220 kV

La línea de entrada es de 220 kV, por lo que la tensión máxima admisible según el RAT04 es de 245 kV, por lo que la tensión máxima a tierra será:

$$U_t = \frac{245}{\sqrt{3}} = 141,45 \text{ kV} \quad [16]$$

Suponemos que el valor de la sobretensión con respecto a tierra, por pérdida brusca de la carga puede alcanzar un valor de:

$$1,55 \cdot U_t = 219,25 \text{ kV con una duración de 10 seg.}$$

Suponemos que el valor de la sobretensión con respecto a tierra, por defecto a tierra de una fase alcanza, en las otras dos fases con respecto a tierra el valor del 140% de la máxima a tierra, es decir:

$$1,44 \cdot U_t = 198,03 \text{ kV con una duración de 1 seg.}$$

El pararrayos seleccionado debe ser aquel que tenga menor tensión nominal y que reúna las siguientes características:

- Tensión de servicio continuo superior a  $1,05U_t = 148,52 \text{ kV}$
- Soportar una tensión de 219,25 kV durante 10 seg.
- Soportar una tensión de 198,03 kV durante 1 seg.

El pararrayos escogido tiene una tensión asignada ( $U_r$ ) de 180 kV y una tensión máxima de funcionamiento continuo ( $U_c$ ) de 144 kV.

Este pararrayos puede soportar:

1. Durante 1 seg. una sobretensión de  $1,43 U_c = 205,92 \text{ kV}$
2. Durante 10 seg. una sobretensión de  $1,36 U_c = 195,84 \text{ kV}$

Desde el punto de vista de tensión nominal y capacidad para soportar sobretensiones temporales, este sería el pararrayos adecuado.

Falta por comprobar que su margen de protección (MP) es superior al 33%.

El margen de protección se define con la siguiente expresión:

$$MP = \left[ \frac{NA}{NP} - 1 \right] \cdot 100 \quad [17]$$

donde:

MP: Margen de protección

NA: Nivel de aislamiento del equipo

NP: Nivel de protección del pararrayos

El valor de la tensión residual con un impulso de corriente de 10 kA, onda 8/20 de este pararrayos es 399 kV.

Los niveles de aislamiento establecidos (NA) en el MIE-RAT/2, para los equipos de 245 kV, son de 650, 750, 850, 950, 1050 kV.

**Tabla 18: Niveles de aislamiento del pararrayos de 220kV**

NA	NP	MP
650	399	62,9%
750	399	87,97%
850	399	113%
950	399	138,1%
1050	399	163,16%

El pararrayos seleccionados protege adecuadamente el equipo de 220 kV, ya que el peor de los casos, cuando los niveles de aislamiento de la instalación son los mínimos normalizados, el margen de protección es muy bueno pues alcanza un valor de 62,9 %, superior al 33% requerido.

**Tabla 19: Pararrayos adoptado 220kV**

Tensión máxima asignada	180 kV
Tensión máxima de funcionamiento continuo	144 kV
Corriente asignada de carga	10 kA
Tensión equivalente al frente de onda	403 kV
Tensión máxima sobretensión de maniobra	330 kV
Tensión residual máxima Onda 8/20	399 kV

### 3.5.2 Pararrayos autoválvula de 27,5 kV

La línea de entrada es de 27,5 kV, por lo que la tensión máxima admisible según el RAT04 es de 36 kV, por lo que la tensión máxima a tierra será:

$$U_t = \frac{36}{\sqrt{3}} = 20,78 \text{ kV} \quad [18]$$

Suponemos que el valor de la sobretensión con respecto a tierra, por pérdida brusca de la carga puede alcanzar un valor de:

$$1,55U_t = 32,209 \text{ kV con una duración de 10 seg.}$$

Suponemos que el valor de la sobretensión con respecto a tierra, por defecto a tierra de una fase alcanza, en las otras dos fases con respecto a tierra el valor del 140% de la máxima a tierra, es decir:

$$1,4U_t = 29,092 \text{ kV La duración de defecto a tierra es de 1 seg.}$$

El pararrayos seleccionado debe ser di la menor tensión nominal que reúna las siguientes características:

- Tensión de servicio continuo superior a  $1,05U_t = 21,819 \text{ kV}$
- Soportar una tensión de  $32,209 \text{ kV}$  durante 10 seg.
- Soportar una tensión de  $29,092 \text{ kV}$  durante 1 seg.

El pararrayos escogido tiene una tensión asignada ( $U_r$ ) de  $30 \text{ kV}$  y una tensión máxima de funcionamiento continuo ( $U_c$ ) de  $24,4 \text{ kV}$ .

Este pararrayos puede soportar:

1. Durante 1 seg. una sobretensión de  $1,43 U_c = 34,892 \text{ kV}$
2. Durante 10 seg. una sobretensión de  $1,36 U_c = 33,184 \text{ kV}$

Desde el punto de vista de tensión nominal y capacidad para soportar sobretensiones temporales, este sería el pararrayos adecuado.

Falta por comprobar que su margen de protección (MP) es superior al 33%.

El margen de protección se define con la ecuación 17 y el valor de la tensión residual con un impulso de corriente de  $10 \text{ kA}$ , onda 8/20 de este pararrayos es  $70,4 \text{ kV}$ .

Los niveles de aislamiento establecidos (NA) en el MIE-RAT/2, para los equipos de  $36 \text{ kV}$ , son de  $145, 170 \text{ kV}$ .

**Tabla 20: Nivel de aislamiento del pararrayos 27,5 kV**

NA	NP	MP
145	70,4	105,96%
170	70,4	141,48%



El pararrayos seleccionado protege adecuadamente el equipo de 27,5 kV, ya que el peor de los casos, cuando los niveles de aislamiento de la instalación son los mínimos normalizados, el margen de protección es muy bueno pues alcanza un valor de 105,96%, superior al 33% requerido.

**Tabla 21: Pararrayos adoptado de 27,5 kV**

PARARRAYOS ADOPTADO 27,5 kV	Valor
Tensión máxima asignada	30 kV
Tensión máxima de funcionamiento continuo	24,4 kV
Corriente asignada de carga	10 kA
Tensión equivalente al frente de onda	71,1 kV
Tensión máxima sobretensión de maniobra	54,7 kV
Tensión residual máxima Onda 8/20	70,4 kV

### 3.6 Instalación de puesta a tierra

Como metodología de cálculo se va considera la IEEE No. 80 "Guide for Safety in AC Substations Grounding" y el Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación, fundamentalmente su Instrucción Técnica Complementaria MIE-RAT 13.

Con el fin de seleccionar la instalación de puesta a tierra más adecuada, se realizó una hoja de cálculo con la que se determinan las tensiones de paso y contacto, tanto admisibles como previsibles, elaborándose una comparación de los resultados obtenidos para diferentes configuraciones, convirtiéndose así, en una herramienta muy útil para escoger el número de carriles longitudinales y transversales y la distancia entre carriles más adecuada, para las dimensiones de la instalación de puesta a tierra adoptada.

#### Corrientes máximas de puesta a tierra y del tiempo máximo correspondiente de eliminación del defecto

El tiempo de eliminación del defecto se utiliza para determinar las máximas tensiones de paso y contacto admisibles en la instalación, las cuales no deben ser sobrepasadas por las tensiones de paso y contacto que se presenten en caso de falta a tierra. Este tiempo viene determinado por la protección empleada y dado que ésta responde normalmente, a una curva tiempo - corriente, sería preciso considerar varios puntos de esta curva, comprendidos entre la corriente mínima de actuación de protección y la máxima de defecto. Sin embargo, en general, para cada nivel de tensiones, las Empresas Suministradoras, tienen definidos los valores típicos de las intensidades de defecto y los tiempos de despeje de los mismos, a partir de los cuales se podrán diseñar las instalaciones de puesta a tierra.

### 3.6.1 Cálculo de las tensiones de paso y contacto

Según el MIE-RAT 13, a efectos de cálculo se emplearan las siguientes expresiones para estimar las tensiones de paso y contacto máximas admisibles en la instalación:

- Tensión de paso (V)

$$V_p = \frac{10K}{t^n} \left[ 1 + \frac{6\rho_s}{1000} \right] \quad [19]$$

- Tensión de contacto (V)

$$V_c = \frac{K}{t^n} \left[ 1 + \frac{1,5\rho_s}{1000} \right] \quad [20]$$

donde:

$\rho_s$  Resistividad de la capa superficial del terreno

$t$  Duración de la falta, en segundos

$K$  y  $n$  Constantes, función del tiempo de operación

$0,9 \geq t > 0,1$ ,  $K=72$ ,  $n = 1$

$0,9 > t \geq 3$ ,  $K = 78,5$   $n = 0,18$

Dichas tensiones son reflejadas en la Tabla 22:

**Tabla 22: Tensiones máximas admisibles**

Duración Falta (seg)	K	n	$\rho$ ( $\Omega$ .m)	Tensión Paso (V)	Tensión Contacto (V)
0,4	72	1	2.000	23.400	720
0,5	72	1	2.000	18.720	576
0,6	72	1	2.000	15.600	480
0,7	72	1	2.000	13.371	411
0,8	72	1	2.000	11.700	360
0,9	72	1	2.000	10.400	320
1	78,5	0,18	2.000	10.205	314
0,4	72	1	3.000	34.200	990
0,5	72	1	3.000	27.360	792
0,6	72	1	3.000	22.800	660
0,7	72	1	3.000	19.543	566
0,8	72	1	3.000	17.100	495
0,9	72	1	3.000	15.201	440
1	78.5	0,18	3.000	14.915	432

A continuación se comprueba que las tensiones de paso y contacto calculadas son inferiores a los valores máximos admisibles

La tensión de paso y la tensión de contacto vienen dadas por las siguientes expresiones:

$$V_p = \frac{K_i \cdot K_s \cdot \rho \cdot I_d}{L} \quad [21]$$

$$V_c = \frac{K_i \cdot K_m \cdot \rho \cdot I_d}{L} \quad [22]$$

donde:

$K_s$  y  $K_m$       Coeficientes dependientes de configuración y geometría de malla

$K_i$               Coeficiente corrector de la desigualdad de la intensidad disipada.

$\rho$                 Resistividad del terreno.

$I_d$                 Intensidad de defecto a disipar por la malla.

$L$                 Longitud total enterrada.

Según la IEEE No. 80, los coeficientes  $K_p$ ,  $K_m$  y  $K_i$  vienen dados por la siguiente formulación:

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[ \ln \left[ \frac{D^2}{16 \cdot h \cdot d} + \frac{(D + 2h)^2}{8 \cdot D \cdot d} - \frac{h}{4d} \right] + \frac{K_{ii}}{K_h} \cdot \ln \left[ \frac{8}{\pi(2n - 1)} \right] \right] \quad [23]$$

$$K_i = 0,644 + 0,148n \quad [24]$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{2h} + \frac{1}{D + h} + \frac{1}{D} (1 - 0,5^{(n-2)}) \right] \quad [25]$$

Siendo:

- n      Número de conductores paralelos.
- h      Profundidad de la malla.
- D      Separación conductores misma dirección.
- d      Diámetro equivalente conductor enterrado.

$K_{ii}$  y  $K_h$  constantes usadas para rejillas sin varillas de tierra o rejillas con sólo unas pocas varillas de tierra, ninguno situado en las esquinas del perímetro, las cuales vienen dadas por las siguientes expresiones:

$$K_{ii} = \frac{1}{(2n)^{(2/n)}} \quad [26]$$

$$K_h = \sqrt{1 + h/h_0} \quad [27]$$

$h_0 = 1\text{ m}$  (profundidad de referencia de cuadrícula)

### 3.6.2 Cálculo de la malla de puesta a tierra.

Para el dimensionado de la malla de puesta a tierra se ha formulado un hoja Excel con las formulas descritas en el apartado anterior y se ha introducido los datos de cálculo que se muestran en la Tabla 23.

**Tabla 23: Datos de cálculo malla de tierras**

Parámetro	Unidad	Valor
Distancia longitudinal	m	74,12
Distancia transversal	m	46,1
Cond. Paral. Longitudinal		23
Cond. Paral. Transversal		9
Profundidad	m	0,8
Resistividad terreno	$\Omega\cdot\text{m}$	65
Resistividad superficial	$\Omega\cdot\text{m}$	3000
Tensión de servicio	kV	220
Intensidad de falta	A	16.100
Tiempo de defecto	seg.	0,7
Long. conexión de equipos	m	420

En la Tabla 24 y la Tabla 25 se muestran las tensiones de paso y de contacto obtenidas mediante un cálculo iterativo.

**Tabla 24: Tensiones de paso previsibles**

Tensión de paso (V)		Ki	Kp
Longitudinal	1.119	4,606	0,530
Transversal	329	2,198	0,342

**Tabla 25: Tensiones de contacto previsibles**

Tensión de contacto (V)		Ki	Km
Longitudinal	541	4,606	0,243
Transversal	551	2,198	0,572

De acuerdo con el MIE-RAT 13 las tensiones máximas admisibles serán las mostradas en la Tabla 26

**Tabla 26: Tensiones máximas admisibles**

Tensión máxima admisible de paso (V)	19.543
Tensión máxima admisibles de contacto (V)	565,7

Como se puede observar, los resultados obtenidos esta configuración de puesta a tierra son perfectamente válida ya que los valores de tensión de paso y tensión de contacto no son superiores a los valores máximos admisibles.

## Capítulo 4: Descripción de las instalaciones

### 4.1 Instalaciones en 220 kV

#### 4.1.1 Protección general de la instalación

La entrada de la subestación, está compuesta por las siguientes instalaciones:

- Pararrayos autoválvula en la entrada de línea y por cada fase cuyos parámetros característicos son:
  - Fabricante ..... INAEL
  - Tensión nominal ..... 220 kV
  - Frecuencia..... 50 Hz
  - Tensión máxima asignada..... 180 kV
  - Corriente nominal de descarga ..... 10 kA

Cada autoválvula va equipada con un contador de descargas que registra mediante un ciclómetro de cuatro dígitos el número de descargas a través de la conexión a tierra de la autoválvula.

- Seccionador tripolar rotativo de línea y de puesta a tierra, cuyos parámetros característicos son:
  - Fabricante ..... MESA
  - Tensión nominal: ..... 245 kV
  - Nivel de aislamiento: ..... Tipo B
  - Frecuencia: ..... 50 Hz
  - Intensidad de pico de puesta a tierra: ..... 100 kA
  - Intensidad de corta duración:..... 40 kA
- Accionamiento eléctrico para seccionador trifásico rotativo de puesta a tierra. Provisto de contactores de mando (apertura y cierre) del motor y enclavamiento electromagnético contra accionamiento manual. Interruptor auxiliar de señalización. Enclavamiento mecánico por cerradura.
- 
- Transformador de tensión para medida fiscal principal. Las características principales son:
  - Fabricante ..... ARTECHE/UTF
  - Conexión ..... Fase-Tierra
  - Tensión de máxima de servicio ..... 245 kV

- Frecuencia nominal 50 Hz
- Relación de transformación  $\frac{220}{\sqrt{3}} / \frac{0,110}{\sqrt{3}}$  kV
- Potencia 100 VA Clase 0,2
- Tensión tipo rayo 1050 kV

Según el artículo 24 del RAT el aislamiento requerido para el embarrado general de una subestación con tensión nominal de 220 kV debe ser:

- Tensión más elevada ( $T_e$ ) ..... 245 kV
- Tensión de ensayo al choque ( $T_c$ ) ..... 900 kV
- Tensión de ensayo a frecuencia industrial ( $T_f$ )..... 395 kV

Por ello los aisladores utilizados serán de tipo Caperuza y Vástago, y designación U 160 BS. Se acoplarán 17 elementos formando así la cadena de aisladores. Las características del aislador son:

- Longitud línea de fuga ..... 380 mm
- Carga de rotura mecánica ..... 160 kN
- Peso neto aproximado ..... 6,3 Kg
- Paso nominal..... 146 mm

La acometida a cada transformador está compuesta por las siguientes instalaciones:

- Seccionador bipolar rotativo y de puesta a tierra, cuyos parámetros característicos son:
  - Fabricante/Tipo..... MESA/ C4-1050
  - Tensión nominal: ..... 245 kV
  - Nivel de aislamiento: ..... Tipo B
  - Frecuencia: ..... 50 Hz
  - Intensidad de pico de puesta a tierra: ..... 100 kA
  - Intensidad de corta duración:..... 40 kA
- Interruptor automático de potencia monofásico, de corte en SF<sub>6</sub>, de servicio exterior, y accionamiento motorizado, por bobina de cierre y apertura por medio de muelles-resortes de apertura y cierre. Provisto de bobina de mínima tensión. Sus características principales son:
  - Fabricante: ..... ABB
  - Tensión nominal: ..... 245 kV
  - Nivel de aislamiento: ..... Tipo B

- Frecuencia:..... 50 Hz
  - Corriente asignada en servicio continuo:..... 4000 A
  - Corriente de corta duración admisible:..... 50 kA
  - Poder de cierre en cortocircuito: ..... 125 kA
- Transformador de intensidad para medida fiscal principal, dos por acometida, siendo uno por fase, cuyas características principales son:
- Fabricante: ..... ARTECHE
  - Conexión..... Fase-Tierra
  - Tensión de máxima de servicio ..... 245 kV
  - Frecuencia nominal..... 50 Hz
  - Intensidad térmica - 1s A.T ..... 120 kA
  - Intensidad dinámica asignada A.T..... 300 kA cresta
  - Relación de Transformación..... 1-4800/5 A
  - Tensión tipo rayo ..... 1050 kV
- Pararrayos autoválvula por cada fase del transformador de potencia cuyos parámetros característicos son:
- Fabricante/Tipo..... INAEL/ZS
  - Tensión nominal ..... 220 kV
  - Frecuencia..... 50 Hz
  - Tensión máxima asignada..... 180 kV
  - Corriente nominal de descarga ..... 10 kA
- Embarrado de alta tensión (220 kV)
- Todas las conexiones en el lado de alta tensión con tensión nominal de 220 kV ser realizaran con cable tipo RAIL, cuyas características son:
- Tipo RAIL
  - Material Al/Ac
  - Sección Aluminio 483,4 mm<sup>2</sup>
  - Sección Acero 33,42 mm<sup>2</sup>
  - Peso 1600 kg/km
  - Carga rotura 11,585 daN
  - Módulo elástico 6700 kg/mm<sup>2</sup>
  - Coeficiente de dilatación por °C 20,9 10<sup>-6</sup> °C



#### 4.1.2 Grupo Protección-Transformador de potencia

- Transformador de potencia bifásico con una toma intermedia, cuyas características principales son:
  - Fabricante ..... ABB
  - Tensión nominal primaria ..... 220 kV
  - Tensión nominal secundaria ..... 27,5 kV
  - Devanados primarios ..... 1
  - Devanados secundarios..... 1
  - Relación de transformación ..... 220 kV/ 27,5 kV
  - Potencia nominal ..... 20 MVA
  - Tensión de cortocircuito AT-BT ..... 10 %
  - Refrigeración ..... ONAN

El transformador dispone de los siguientes accesorios de protección:

- Termómetro de contacto, dotado de aguja de arrastre para indicación de máxima temperatura y 4 contactos independientes normalmente abiertos: 2 para alarma y 2 para disparo.
- Imagen térmica, dotada de aguja de arrastre para indicación de máxima temperatura y 4 contactos independientes normalmente abiertos: 2 para alarma y 2 para disparo.
- Transformador de Intensidad monofásico, 200/5A, 5P10-15 VA, con caja de conexión IP54, aislamiento 3 kV, para protección de cuba.
- Relé Buchholz de 3 pulgadas, con contactos de alarma por flotador y dispar por movimiento de chapaleta por fuerte corriente de aceite.
- Relé de sobrepresión para protección del conmutador en carga, con 1 contacto para alarma y 1 para disparo, libres de potencial.

Las características de las autoválvulas pararrayos del lado de media tensión son:

- Fabricante ..... INAEL
- Tensión nominal ..... 30 kV
- Frecuencia..... 50 Hz
- Tensión máxima asignada..... 30 kV
- Corriente nominal de descarga ..... 10 kA

Cada autoválvula va equipada con un contador de descargas que registra mediante un ciclómetro de cuatro dígitos el número de descargas a través de la conexión a tierra de la autoválvula.

## 4.2 Cabinas de 27,5 kV

Las cabinas de maniobra aisladas en SF<sub>6</sub> de 27,5 kV, a utilizar tanto para proteger las salidas de los secundarios de los transformadores de tracción de 20 MVA, como para alimentar a los diversos circuitos de catenaria y feeder y los acoplamientos que correspondan en cada subestación, según los esquemas de las mismas, se ajustan a las correspondientes normas del CENELEC, así como a las recomendaciones siguientes:

### 4.2.1 Celdas de llegada de los transformadores de potencia

Se instalará una cabina monofásica por acometida, para la protección del transformador de potencia y de las sucesivas cabinas (un total de dos cabinas). Las características de estas cabinas son:

- Fabricante ..... MESA
- Sistema de aislamiento ..... SF<sub>6</sub>
- Ejecución ..... Monofásico
- Tensión nominal ..... 1x27,5 kV
- Tensión de ensayo a frec. Industrial ..... 95 kV
- Tensión de ensayo a onda tipo rayo ..... 250 kV
- Intensidad nominal de barras ..... 2500 A
- Intensidad nominal derivaciones ..... 2000 A
- Intensidad cortocircuito (valor cresta) ..... 63 kA
- Intensidad de corto (valor eficaz) ..... 25 kA/1s

Esta cabina está formada por los siguientes elementos:

- 1 interruptor monopolar de 27,5 kV, 2500A, 25 kA-1s / 63kA cresta.
- 1 seccionador monopolar de línea de 27,5 kV, 2500A, 25 kA-3s / 63kA cresta.
- 1 seccionador de puesta a tierra.
- 1 compartimiento monopolar de barras generales de 27,5 kV, 2500A, 25 kA-3s / 63kA cresta. La cabina viene preparada para conexión de un conector de un solo cable 300 mm<sup>2</sup>.
- 1 compartimiento monopolar de 3 conectivos enchufables de 300 mm<sup>2</sup> por fase, para cable XLPE.
- 1 compartimiento de relés.
- 1 transformador de intensidad toroidal de 2500/5A, 30 kV clase 0,5; 20 VA clase 5P20.
- 1 Transformador de tensión enchufables de 27,5/0,110 kV, 30 VA, clase 0,5; 30 VA clase 3P.

- 3 relés auxiliares para control remoto del interruptor, y antibombeo y control a 125 Vcc.
- 1 caja-bloque conteniendo:
  - conjunto para control.
  - conjunto para conexión de los transformadores de tensión y de intensidad.
- Conjunto de fusibles y conexiones.
- 1 amperímetro bimetálico para indicación de máxima, y escala comprimida en extensión entre 100% y 120% de  $I_n$ ,  $t=15$  min.
- 1 unidad de Control de Posición.
- 1 transductor de corriente 4/20 mA.
- 1 voltímetro de hierro móvil con escala ampliada en compresión entre 100% y 120%.
- 7 conectores enchufables para cables de 300 mm<sup>2</sup>.

#### 4.2.2 Celdas de alimentación a Catenaria y Feeder

Se instalarán cuatro cabinas bifásicas de alimentación a catenaria y feeder, dos por acometida. Las características de estas cabinas son:

- Fabricante ..... MESA
- Sistema de aislamiento ..... SF6
- Ejecución ..... Monofásico
- Tensión nominal ..... 1x27,5 kV
- Tensión de ensayo a frec. Industrial ..... 95 kV
- Tensión de ensayo a onda tipo rayo..... 250 kV
- Intensidad nominal de barras ..... 2500 A
- Intensidad nominal derivaciones ..... 2000 A
- Intensidad cortocircuito (valor cresta)..... 63 kA
- Intensidad de corto (valor eficaz) ..... 25 kA/1s

Esta cabina está formada por los siguientes elementos:

- 1 interruptor monopolar de 27,5 kV, 2500A, 25 kA-1s / 63kA cresta.
- 1 seccionador monopolar de línea de 27,5 kV, 2500A, 25 kA-3s / 63kA cresta.
- 1 seccionador de puesta a tierra.
- 1 compartimiento monopolar de barras generales de 27,5 kV, 2500A, 25 kA-3s / 63kA cresta. La cabina viene preparada para conexión de un conector de un solo cable 300 mm<sup>2</sup>.
- 1 compartimiento monopolar de 3 conectivos enchufables de 300 mm<sup>2</sup> por fase, para cable XLPE.
- 1 compartimiento de relés.

- 1 transformador de intensidad toroidal de 2500/5A, 30 kV clase 0,5; 20 VA clase 5P20.
- 1 Transformador de tensión enchufables de 27,5/0,110 kV, 30 VA, clase 0,5; 30 VA clase 3P.
- 3 relés auxiliares para control remoto del interruptor, y antibombeo y control a 125 Vcc.
- 1 caja-bloque conteniendo:
  - conjunto para control.
  - conjunto para conexión de los transformadores de tensión y de intensidad.
- 1 Conjunto de fusibles y conexiones.
- 1 amperímetro bimetálico para indicación de máxima, y escala comprimida en extensión entre 100% y 120% de  $I_n$ ,  $t=15$  min.
- 1 voltímetro de hierro móvil con escala ampliada en compresión entre 100% y 120%.
- 1 unidad de Control de Posición.
- 6 conectores enchufables para cables de 300 mm<sup>2</sup>.

#### 4.2.3 Celdas de acoplamiento

La cabina de acoplamiento utilizada para conectar dos barras independientes está definida por las siguientes características:

- Fabricante ..... MESA
- Sistema de aislamiento ..... SF6
- Ejecución ..... Monofásico
- Tensión nominal ..... 1x27,5 kV
- Tensión de ensayo a frec. Industrial ..... 95 kV
- Tensión de ensayo a onda tipo rayo..... 250 kV
- Intensidad nominal de barras ..... 2500 A
- Intensidad nominal derivaciones ..... 2000 A
- Intensidad cortocircuito (valor cresta) ..... 63 kA
- Intensidad de corto (valor eficaz) ..... 25 kA/1s

Esta cabina está formada por los siguientes elementos:

- 1 interruptor monopolar de 27,5 kV, 2500A, 25 kA-1s / 63kA cresta.
- 1 seccionador monopolar de línea de 27,5 kV, 2500A, 25 kA-3s / 63kA cresta.
- 1 compartimento monopolar de barras generales de 27,5 kV, 2500 A, 25 kA-3s/63 kA cresta.

- 1 compartimiento de relés.
- 1 Transformador de tensión enchufables de 27,5/0,110 kV, 30 VA, clase 0,5; 30 VA clase 3P.
- 3 relés auxiliares para control remoto del interruptor, y antibombeo y control a 125 Vcc.
- 1 caja-bloque conteniendo:
  - conjunto para control.
  - conjunto para conexión de los transformadores de tensión y de intensidad.
- 1 Conjunto de fusibles y conexiones.
- 1 voltímetro de cuadro móvil con escala ampliada en compresión entre 100% y 120% de  $U_n$ .
- 1 unidad de Control de Posición.

#### 4.3 Embarrado lado de 27,5kV (interior edificio y pórtico de feeders)

Las características de los cables de potencia de media tensión en el edificio, formaran parte de estos sectores:

- entre cabinas de SSAA y de salida de feeders.

Estos poseerán las siguientes características:

- Tensión nominal ..... 26/45 kV
- Tensión de servicio máxima ..... 36 kV
- Tensión de prueba ..... 65 kV
- Temperatura de servicio máximo ..... 90 °C
- Conductor:
  - Material ..... Cobre
  - Sección ..... 300 mm<sup>2</sup>
- Pantalla metálica ..... Cobre
- Aislamiento ..... Polietileno reticulado

#### 4.4 Seccionador de acoplamiento de pórtico de salida de feeder

Se instala un seccionador monopolar por cada catenaria-feeder, el cual está definido por las siguientes características:

- Fabricante/Tipo..... MESA
- Tensión de servicio ..... 36 kV
- Frecuencia nominal..... 50 Hz
- Intensidad nominal..... 2000 A

- Intensidad admisible corta duración ..... 50 kA-1s
- Valor cresta de la intensidad..... 125 kA

Este seccionador dispone de mando eléctrico compuesto por un motor a tensión 125 Vcc, y un accionamiento manual por manivela que hace pasar en selector en posición local y bloquea el funcionamiento del motor.

#### 4.5 Pararrayos autoválvula del pórtico de salida de feeder

Se instalará un pararrayos autoválvula por cada feeder a catenaria en el mismo pórtico que el seccionador de feeder, cuyas características serán:

- Fabricante/Tipo..... MESA
- Tensión nominal ..... 36 kV
- Frecuencia ..... 50 Hz
- Tensión máxima asignada ..... 30 kV
- Corriente nominal de descarga ..... 10 kA

Cada autoválvula va equipada con un contador de descargas que registra mediante un ciclómetro de cuatro dígitos el número de descargas a través de la conexión a tierra de la autoválvula.

#### 4.6 Instalación de servicios auxiliares

##### 4.6.1 Transformador de servicios auxiliares

Se instalarán dos transformadores de servicios auxiliares, cuyas características principales son:

- Fabricante ..... ABB
- Potencia..... 160 kVA
- Tensión primaria..... 27,5 kV
- Tensión secundaria ..... 230 V
- Frecuencia..... 50 Hz
- Grupo de conexiones ..... Monofásico
- Tensión de cortocircuito ..... 4%
- Perdidas en vacío ..... 960 W
- Pérdidas debidas a la carga ..... 2.550 W

#### 4.6.2 Celdas de llegada directa de Servicios Auxiliares

Esta celda se conecta al transformador de servicios auxiliares y tiene las siguientes características eléctricas:

- Fabricante ..... MESA
- Tensión nominal ..... 27,5 kV
- Tensión máxima para la cabina ..... 36 kV
- Tensión de ensayo a 50 Hz ..... 70 kV eficaz
- Tensión de ensayo tipo rayo 1,2/50  $\mu$ s ..... 170 kV cresta
- Intensidad nominal de barraje general ..... 1250 A
- Intensidad nominal de la salida a los filtros. 630 A
- Intensidad límite térmica durante 1 seg ..... 31,5kA
- Intensidad límite dinámica..... 80 kA cresta

## Capítulo 5: Presupuesto

### 5.1 Equipos de 220 kV

Nº	Concepto	Med.	Ud.	Precio Unitario (€/Unidad)	Importe Total (€)
1.1	Suministro y montaje a pie de obra de los seccionadores tripolares de acometida de la subestación, incluyendo la instalación, conexión y puesta en servicio con suministro de material auxiliar	1	Unidades	34.862,08	34.862,00
1.2	Suministro y montaje a pie de obra de los seccionadores bipolares de acometida de la subestación, incluyendo la instalación, conexión y puesta en servicio con suministro de material auxiliar	2	Unidades	34.862,08	69.724,16
1.3	Suministro y montaje a pie de obra del interruptor SF6 de 220 kV de protección de la subestación, incluyendo la instalación, conexión y puesta en servicio con suministro de material auxiliar.	2	Unidades	255.348,32	510.696,64
1.4	Suministro y montaje a pie de obra del transformador de tensión de 220 kV para medida, incluyendo la instalación, conexión yy puesta en servicio con suministro de material auxiliar.	3	Unidades	35.001,60	105.004,8
1.5	Suministro y montaje a pie de obra del transformador de intensidad de 220 kV para medida, incluyendo la instalación, conexión yy puesta en servicio con suministro de material auxiliar.	4	Unidades	35.423,84	141.695,36



Nº	Concepto	Med.	Ud.	Precio Unitario (€/Unidad)	Importe Total (€)
1.6	Suministro y montaje a pie de obra del transformador de potencia de 20 MVA tipo intemperie, con transformador de intensidad monofásico para protección de cuba, con Relé Buzchholz, y relé de sobrepresión para protección del conmutador en carga, incluyendo la instalación, conexión y puesta en servicio con suministro de material	2	Unidades	864.601,26	1.729.202,52
1.7	Suministro y montaje a pie de obra del pararrayos autoválvula de 220 kV para protección ante sobretensiones, incluyendo la instalación, conexión y puesta en servicio con suministro de material auxiliar.	7	Unidades	17.117,76	119.824,32

**Total capítulo 1- Equipos de 220 kV:****2.711.009,8€****5.2 Equipos de 27,5 kV**

Nº	Concepto	Medición	Unidades	Precio Unitario (€/Unidad)	Importe total (€)
2.1	Suministro y montaje de la celda de acometida, de 36 kV aislada en SF6, incluyendo la instalación, conexión y puesta en servicio con suministro de material auxiliar.	2	Unidades	74.400,28	148.800,56
2.2	Suministro y montaje a pie de obra del pararrayos autoválvula de 36 kV, incluyendo la instalación, conexión y puesta en servicio con suministro de material auxiliar.	4	Unidades	3.759,20	15.036,8

Nº	Concepto	Medición	Unidades	Precio Unitario (€/Unidad)	Importe total (€)
2.3	Suministro y montaje de la celda de salida catenaria feeder 36 kV aislada en SF6, incluyendo la instalación, conexión y puesta en servicio con suministro de material auxiliar	4	Unidades	70.200,94	280.803,76
2.4	Suministro y montaje de la celda de acoplamiento y medida de 36 kV aislada en SF6, incluyendo la instalación, conexión y puesta en servicio con suministro de material auxiliar	2	Unidades	49.268,50	98.537
2.5	Suministro y montaje de la celda de salida del transformador de servicios auxiliares de 36 kV aislada en aire, incluyendo la instalación, conexión y puesta en servicio con suministro de material auxiliar.	2	Unidades	5.429,73	10.859,46
2.6	Suministro y montaje a pie de obra del transformador de servicios auxiliares de 160 kVA, incluyendo la instalación, conexión y puesta en servicio con suministro de material auxiliar.	2	Unidades	6.450,10	12.900,2
<b>Total capítulo 2 - Equipos de 36 kV:</b>				<b>566.937,78€</b>	

### 5.3 Conexión a catenaria

Nº	Concepto	Medición	Unidades	Precio Unitario (€/Unidad)	Importe total (€)
3.1	Suministro y montaje del seccionador monopolar de acoplamiento de catenaria feeder de 36 kV, incluyendo la instalación, conexión y puesta en servicio con suministro de material auxiliar	4	Unidades	5.545,04	22.180,16
3.2	Suministro y montaje del pararrayos autoválvula de 30 kV para protección de la subestación ante sobretensiones, incluyendo la instalación, conexión y puesta en servicio con suministro de material auxiliar.	4	Unidades	3.759,20	15.036,8

**Total capítulo 3- Conexión a catenaria**

**37.216,96€**

### 5.4 Red de Tierras

Nº	Concepto	Medición	Unidades	Precio Unitario (€/Unidad)	Importe total (€)
4.1	Suministro y montaje de la red de tierras y masas con conductor de cobre, incluyendo transporte, conexión y suministro de material auxiliar.	1	Unidades	21.549,92	21.549,92

**Total capítulo 4- Red de Tierras**

**21.549,92€**

## 5.5 Embarrados

Nº	Concepto	Medición	Unidades	Precio Unitario (€/Unidad)	Importe total (€)
5.1	Suministro y montaje del conductor de conexión entre equipos del lado 220 kV, tipo RAIL, incluyendo la instalación, conexión y puesta en servicio con suministro de material auxiliar.	438	metros	29,79	13048,02
5.2	Suministro y montaje del tubo 60/52, incluyendo la instalación, conexión y puesta en servicio con suministro de material auxiliar.	16	metros	14,95	239,2
5.3	Suministro y montaje del conductor de cobre aislado 26/45 para conexión entre equipos en el lado 36 kV, incluyendo la instalación, conexión y puesta en servicio con suministro de material auxiliar.	770	metros	42,68	32863,6
<b>Total capítulo 5- Embarrados</b>					<b>46.150,62€</b>

## 5.6 Protecciones

Nº	Concepto	Medición	Unidades	Precio Unitario (€/Unidad)	Importe total (€)
6.1	Suministro y montaje del equipo de protección y medida digital para la subestación, incluyendo la instalación, conexión y puesta en servicio con suministro de material auxiliar.	1	Unidades	37.291,26	37291,26
<b>Total capítulo 6- Protecciones y medidas digitales</b>					<b>37.291,26€</b>

## 5.7 Resumen del presupuesto

<b>CONCEPTO</b>	<b>BASE IMPONIBLE (€)</b>
Equipos de 220 kV	2.711.009,8
Equipos de 36 kV	566.937,78
Conexión a catenaria	37.216,96
Red de tierras	21.549,92
Embarrados	46.152,62
Protecciones y medidas digitales	37.291,26
<b>Total</b>	<b>3.420.156,34</b>
GG y BI (15%)	513.023,45
<b>Presupuesto por ejecución por contrata</b>	<b>3.933.179,79</b>
I.V.A (21%)	825.967,76
<b>Presupuesto Base de licitación.</b>	<b>4.759.147,55</b>

El presupuesto asciende a CUATRO MILLONES SETECIENTOS CINCUENTA Y NUEVE MIL CIENTO CUARENTA Y SIETE EUROS CON CINCUENTA Y CINCO CENTIMOS.

## Capítulo 6: Manual de Operación

Partiendo del manual de operación [24] de una subestación de tracción de 2x25 kV con una configuración de del parque de subestación de compañía eléctrica de interruptor y medio, se procede a adaptar dicho manual para la subestación de tracción objeto de este Trabajo Fin de Grado.

### 6.1 Nomenclatura de los equipo de maniobra y corte.

La nomenclatura de los aparatos de corte consta de tres partes separada cada una por un guion:

- Tipo del aparato de corte:
  - Q89: Seccionador
  - Q52: Interruptor
  - Q57: Seccionador de puesta a tierra
- Situación del aparato:
  - AG: Acometida General
  - A: acoplamiento
  - C: Salida Catenaria/Feeder
  - L: Línea
  - PC: Pórtico de Catenaria
  - RC: Acoplamiento de barras
  - T: transformador
  - TSA: Servicios auxiliares
- Lado (x) y vía (y):
  - x=1: lado 1
  - x=2: lado 2
  - y=1: vía 1
  - y=2: vía 2

### 6.2 Niveles de mando

#### 6.2.1 A pie de equipo

Mediante mando local, eléctrico o mecánico. Conmutador "Local/Remoto" cuando existen un nivel de mando superior (bastidor sinóptico o P.O.L).

### **6.2.2 Bastidor Sinóptico**

En el frente del Armario de Control de Posición "Transformador de Tracción". Desde ese bastidor se puede, mediante mando eléctrico, maniobrar el aparellaje de 400 kV de la subestación, y los Interruptores de Acometida Transformadores y de Acoplamiento 27,5 kV de las cabinas G.I.S. Conmutador "Local/ Remoto" con el nivel de mando superior (P.O.L). Conmutador "Subestación/ Telemando" con el nivel de mando superior (Telemando).

### **6.2.3 Puesto de Operación Local (P.O.L)**

Se trata de la interface Hombre- Máquina (I.H.M) de la Unidad de Control de la Subestación (U.C.S). Desde el P.O.L, se puede reproducir, a través del menú programa, el sinóptico de la subestación y la forma de actuar sobre la misma. Conmutador "Manual/ Automático" con el nivel de mando superior (U.C.S).

### **6.2.4 Unidad de control de Subestación (U.C.S)**

La Unidad de Control de Subestación permite:

- concentrar los datos que provienen de las Unidades de Control de Posición (U.C.P) de la subestación,
- distribuir datos , informaciones entre las diferentes U.C.P de la Subestación,
- asegurar el interface entre la subestación y el nivel superior de control (Puesto Central Telemando),
- asegurar los automatismos programados, para pasar automáticamente de la situación de funcionamiento normal a una situación de funcionamiento degradado en caso de fallo en un equipamiento, y viceversa cuando las condiciones lo permitan.

### 6.3 Puesto Central de Telemando

El siguiente cuadro indica desde qué nivel se pueden controlar cada uno de los equipos:

Posición	Equipamiento por maniobrar	Pie de equipo	Bastidor Sinóptico	P.O.L./ U.C.S	Centro de Telemando
Acometida general 220 kV	Seccion. Tripolar 3 columnas rotativo	x	x	x	x
Acometida Trafo -1	Seccion. Línea 220kV - Calle 1	x	x	x	x
	Seccion. Tierra 220kV - Calle 1	x	x	x	x
Acometida Trafo-2	Seccion. Línea 220kV - Calle 2	x	x	x	x
	Seccion. Tierra 220kV - Calle 2	x	x	x	x
Trafo Tracción-1	Regulador en Carga Trafo Tracción - Calle 1	x	x	x	x
Trafo Tracción-2	Regulador en Carga Trafo Tracción - Calle 2	x	x	x	x
Acometida 27,5 kV -1	Inter. Acometida 27,5 kV-Calle 1	x	x	x	x
	Seccion. Línea Acometida 27,5 kV-Calle1	x	x	x	x
	Seccion. Tierra Acometida 27,5 kV-Calle1	x			
Acometida 27,5 kV -2	Inter. Acometida 55 kV-Calle 2	x	x	x	x
	Seccion. Línea Acometida 27,5 kV-Calle2	x	x	x	x
	Seccion. Tierra Acometida 27,5 kV-Calle2	x			
Salida Cat. 27,5 kV - 1.1	Inter. Salida Catenaria 27,5 kV 1.1	x		x	x
	Seccion. Línea Salida Catenaria 27,5 kV 1.1	x		x	x
	Seccion. Tierra Salida Catenaria 27,5 kV 1.1	x			
Salida Cat. 27,5 kV - 1.2	Inter. Salida Catenaria 27,5 kV 1.2	x		x	x
	Seccion. Línea Salida Catenaria 27,5 kV 1.2	x		x	x
	Seccion. Tierra Salida Catenaria 27,5 kV 1.2	x			
Salida Cat. 27,5 kV - 2.1	Inter. Salida Catenaria 27,5 kV 2.1	x		x	x
	Seccion. Línea Salida Catenaria 27,5 kV 2.1	x		x	x
	Seccion. Tierra Salida Catenaria 27,5 kV	x			



Posición	Equipamiento por maniobrar	Pie de equipo	Bastidor Sinóptico	P.O.L/ U.C.S	Centro de Telemando
	2.1				
Salida Cat. 27,5 kV - 2.2	Inter. Salida Catenaria 27,5 kV 2.2	x		x	x
	Seccion. Línea Salida Catenaria 27,5 kV 2.2	x		x	x
	Seccion. Tierra Salida Catenaria 27,5 kV 2.2	x			
Acoplamiento 27,5 kV	Inter. Acoplamiento Barras 27,5 kV	x	x	x	x
	Seccionador. Línea Acoplamiento Barras 27,5kV	x	x	x	x
	Seccionador. Tierra Acoplamiento Barras 27,5kV	x			
Seccionamiento 27,5 kV	Seccionador. Línea Seccionamiento/Remonte 27,5kV	x	x	x	x
	Seccionador. Tierra Seccionamiento/Remonte 27,5kV	x			
Salida Trafo SS/AA - 1	Inter. Salida 27,5kV Trafo SS/AA-1	x		x	x
	Seccionador. Terra Salida Trafo SS/AA-1	x			
Salida Trafo SS/AA - 2	Inter. Salida 27,5kV Trafo SS/AA-2	x		x	x
	Seccionador. Tierra Salida Trafo SS/AA-2	x			
Pórtico Salida Catenaria/ Feeder	Seccionador. Línea 27,5kv Pórtico Catenaria 1.1	x		x	x
	Seccionador. Línea 27,5kv Pórtico Catenaria 1.2	x		x	x
	Seccionador. Línea 27,5kv Pórtico Catenaria 2.1	x		x	x
	Seccionador. Línea 27,5kv Pórtico Catenaria 2.2	x		x	x
Servicios Auxiliares	Inter. Acometida 220V SS/AA-1	x		x	x
	Inter. Acometida 220V SS/AA-2	x		x	x
	Inter. Servicios Esenciales 220V	x		x	x
	Inter. Grupo Electrógeno 220V	x		x	x

## 6.4 Seccionador de acometida general

### 6.4.1 Nivel de mando

#### 6.4.1.1 Pie de equipo

Si el conmutador "local/ remoto" situado en todos los polos del seccionador está en posición local:

- Se abre y cierra mediante pulsadores.
- Se abre y cierra mediante manivelas.

Si el conmutador "local/remoto" situado en cada uno de los tres polos del seccionador está en posición remoto:

- No funcionan los pulsadores.
- Se abre y cierra mediante manivelas.

En cualquiera de los casos, la introducción de la manivela provoca el disparo de los interruptores aguas arriba de la compañía y Q52-T1 para la calle 1, y Q52-T2 para la calle 2. Los interruptores se mantendrán abiertos hasta que se extraiga la manivela.

#### 6.4.1.2 Bastidor sinóptico

El conmutador "local/remoto" a pie de equipo de los tres polos deberán estar en posición remoto. Si cualquiera de ellos se encuentra en posición "local" no se puede maniobrar el seccionador desde el bastidor.

Para maniobrar desde el bastidor sinóptico, el conmutador "local/ remoto" del bastidor deberá estar en posición "local" y el conmutador "subestación/ Telemando" es indistinto.

Se manda abrir o cerrar el seccionador con el conmutador "Giro-Empuje-Lámpara" correspondiente del cuadro sinóptico. Los tres polos del seccionador se mandan a la vez.

#### 6.4.1.3 P.O.L/ Telemando

El conmutador "local/remoto" a pie de equipo de todos los polos deberán estar en posición remoto. Si cualquiera de ellos se encuentra en posición "local" no se puede maniobrar el seccionador ni desde el POL ni desde el Telemando.

El conmutador "local/ remoto" del bastidor sinóptico deberá estar en posición "remoto" en caso contrario no se podrá maniobrar ni desde el POL ni desde el Telemando.

Para el mando desde el POL, el conmutador "subestación/ Telemando" del bastidor sinóptico deberá estar en posición "subestación".

Para el mando desde el Telemando, el conmutador "subestación/ Telemando" del bastidor sinóptico deberá estar en posición "Telemando".

#### **6.4.2 Indicaciones**

Tanto en el bastidor sinóptico como en el POL deberán aparecer las indicaciones correspondientes de seccionador abierto y cerrado aunque no tengan el mando en ese momento. Se indicará que el seccionador está cerrado cuando lo estén los tres polos y que está abierto cuando lo estén los tres polos. En el resto de situaciones quedará en posición indefinido.

En el bastidor sinóptico deberá lucir la lámpara cuando la posición del seccionador y la maneta sean diferentes.

En el POL dará las siguientes indicaciones:

- En color de la línea, azul o verde, cuando esté cerrado.
- En color gris cuando esté indeterminado
- En color rojo cuando esté abierto

#### **6.4.3 Enclavamientos**

Solamente se podrá maniobrar el seccionador sin carga, es decir, estando abiertos el interruptor aguas arriba de la compañía y el interruptor Q52-T1 en la calle 1, y el interruptor Q52-T2 para la calle 2. Por lo tanto solo existirá enclavamiento con estos equipos. Por otra parte existirá un enclavamiento eléctrico y mecánico con el seccionador de puesta a tierra, de forma que para poder maniobrar el seccionador, deberá estar abierto el seccionador de puesta a tierra y análogamente, para poder maniobrar el seccionador de puesta a tierra, deberá estar abierto el seccionador.

### **6.5 Seccionador de entrada de línea 220 kV (Q89-L1, Q89-L2)**

#### **6.5.1 Nivel de mando**

##### **6.5.1.1 Pie de equipo**

Si el conmutador "local/ remoto" situado en todos los polos del seccionador Q89-L1 (L2), así como en los del seccionador de tierra Q57-L1 (L2) está en posición local:

- Se abre y cierra mediante pulsadores.
- Se abre y cierra mediante manivelas.

Si el conmutador "local/remoto" situado en cada uno de los tres polos del seccionador Q89-L1 (L2) y los tres polos del Q57-L1 (L2) está en posición remoto:

- No funcionan los pulsadores.
- Se abre y cierra mediante manivelas.

En cualquiera de los casos, la introducción de la manivela provoca el disparo de los interruptores aguas arriba de la compañía y Q52-T1 para la calle 1, y Q52-T2 para la calle 2. Los interruptores se mantendrán abiertos hasta que se extraiga la manivela.

#### **6.5.1.2 Bastidor sinóptico**

El conmutador "local/remoto" a pie de equipo de los tres polos deberán estar en posición remoto. Si cualquiera de ellos se encuentra en posición "local" no se puede maniobrar el seccionador desde el bastidor.

Para maniobrar desde el bastidor sinóptico, el conmutador "local/ remoto" del bastidor deberá estar en posición "local" y el conmutador "subestación/ Telemando" es indistinto.

Se manda abrir o cerrar el seccionador con el conmutador "Giro-Empuje-Lámpara" correspondiente del cuadro sinóptico. Los tres polos del seccionador se mandan a la vez.

#### **6.5.1.3 P.O.L/ Telemando**

El conmutador "local/remoto" a pie de equipo de todos los polos deberán estar en posición remoto. Si cualquiera de ellos se encuentra en posición "local" no se puede maniobrar el seccionador ni desde el POL ni desde el Telemando.

El conmutador "local/ remoto" del bastidor sinóptico deberá estar en posición "remoto" en caso contrario no se podrá maniobrar ni desde el POL ni desde el Telemando.

Para el mando desde el POL, el conmutador "subestación/ Telemando" del bastidor sinóptico deberá estar en posición "subestación".

Para el mando desde el Telemando, el conmutador "subestación/ Telemando" del bastidor sinóptico deberá estar en posición "Telemando".

#### **6.5.2 Indicaciones**

Tanto en el bastidor sinóptico como en el POL deberán aparecer las indicaciones correspondientes de seccionador abierto y cerrado aunque no tengan el mando en ese momento. Se indicará que el seccionador está cerrado cuando lo estén los tres polos y que está abierto cuando lo estén los tres polos. En el resto de situaciones quedará en posición indefinido.

En el bastidor sinóptico deberá lucir la lámpara cuando la posición del seccionador y la maneta sean diferentes.

En el POL dará las siguientes indicaciones:

- En color de la línea, azul o verde, cuando esté cerrado.
- En color gris cuando esté indeterminado
- En color rojo cuando esté abierto

### **6.5.3 Enclavamientos**

Solamente se podrá maniobrar el seccionador sin carga, es decir, estando abiertos el interruptor aguas arriba de la compañía y el interruptor Q52-T1 en la calle 1, y el interruptor Q52-T2 para la calle 2. Por lo tanto solo existirá enclavamiento con estos equipos. Por otra parte existirá un enclavamiento eléctrico y mecánico con el seccionador de puesta a tierra correspondiente, de forma que para poder maniobrar el seccionador Q89-L1 (Q89-L2), deberá estar abierto el seccionador de puesta a tierra Q57- L1 (L2) y análogamente, para poder maniobrar el seccionador de puesta a tierra Q57-L1 (L2), deberá estar abierto el seccionador Q89-L1 (L2).

## **6.6 Seccionador de puesta a tierra de acometida 220 kV (Q57-L1, Q57-L2)**

### **6.6.1 Nivel de mando**

#### **6.6.1.1 Pie de equipo**

El conmutador "local/ remoto" situado en todos los polos del seccionador Q89-L1 (L2) y Q57-L1 (L2) están en posición "local":

- Se abre y cierra mediante pulsadores.
- Se abre y cierra mediante manivelas.

Si el conmutador "local/ remoto" situado en cada uno de los tres polos de los seccionadores Q89-L1 (L2) y Q57-L1 (L2) están en posición remoto:

- No funcionan los pulsadores.
- Se abre y cierra mediante manivelas.

No obstante, la introducción de la manivela no provoca el disparo de los interruptores aguas arriba de la compañía y de los interruptores Q52-T1 (calle 1) y Q52-T2 (calle 2). El enclavamiento mecánico con el seccionador debe impedir el accionamiento de la manivela.

### 6.6.1.2 Bastidor sinóptico

El conmutador "local/ remoto" a pie de equipo de todos los polos deberán estar en posición remoto. Si cualquiera de ellos se encuentra en posición "local" no se puede maniobrar el seccionador desde el bastidor.

Para maniobrar desde el sinóptico, el conmutador "local/ remoto" del bastidor deberá estar en posición "local" y el conmutador "subestación/ Telemando" es indistinto.

Se manda abrir o cerrar el seccionador con el conmutador "Giro-Empuje-Lámpara" correspondiente del cuadro sinóptico. Los tres polos del seccionador se mandan a la vez.

### 6.6.1.3 POL/ Telemando

Los seccionadores de puesta a tierra 220 kV se mandan desde el P.O.L, pero no desde el Telemando.

Para maniobrar desde el POL es conmutador "subestación/ Telemando" del bastidor sinóptico deberá estar en posición "subestación".

### 6.6.2 Indicaciones

Tanto en el bastidor sinóptico como en el POL deberán aparecer las indicaciones correspondientes de seccionador abierto y cerrado aunque no tengan el mando en ese momento. Se indicará que el seccionador está cerrado cuando lo estén los tres polos y que está abierto cuando lo estén los tres polos. En el resto de situaciones quedará en posición indefinido.

En el bastidor sinóptico deberá lucir la lámpara cuando la posición del seccionador y la maneta sean diferentes.

En el POL dará las siguientes indicaciones:

- En color de la línea, azul o verde, cuando esté cerrado.
- En color gris cuando esté indeterminado
- En color rojo cuando esté abierto

### 6.6.3 Enclavamientos

Para poder maniobrar el seccionador de puesta a tierra Q57-L1 (L2), es necesario que se cumplan las siguientes condiciones:

- El seccionador Q89-L1 (L2) esté en posición abierto.
- El interruptor magnetotérmico 98L1 TT (98L2-TT) esté cerrado.
- El interruptor Q52-T1 (T2) esté abierto.

- El relé de mínima tensión esté "sin tensión".

Con el seccionador Q89-L1 (L2) existirá un enclavamiento eléctrico y mecánico. Con el resto de los equipos relacionados anteriormente el enclavamiento será eléctrico.

Además, existirá un enclavamiento mediante llaves con el seccionador de puesta a tierra de acometida a transformador en 27,5 kV, Q57-T1 (T2), de forma que una vez cerrado y enclavado no se pueda abrir mientras dicho seccionador Q57-T1 (T2) esté puesto a tierra:

En cada polo del seccionador Q57-L1 (L2), hay una llave (L1) prisionera en una cerradura (C1) mientras el polo no esté en posición cerrado.

Cuando el polo se encuentra en posición cerrado, la llave L1 se puede extraer. El polo permanecerá bloqueado en posición "cerrado" mientras la llave L1 no se vuelva a reponer en la cerradura C1.

Las tres llaves L1 de los tres polos de una calle se llevan entonces a un clavijero ubicado en el edificio de la subestación, y se insertan en tres cerraduras C'1.

Las tres cerraduras C'1 están enclavadas con una cuarta cerradura C'2, en la cual está prisionera una llave L'2. La llave L'2 permanecerá prisionera en C'2 mientras las tres llaves L1 no estén insertadas en las cerraduras C'1.

Una vez que las tres llaves L1 son insertadas en las tres cerraduras C'1, la llave L'2 se puede extraer de la cerradura C'2. Las llaves L1 permanecerán prisioneras mientras la llave L'2 no se vuelva a insertar en C'2.

La llave L'2 es necesaria para poder cerrar el seccionador de tierra Q57-T1 (T2).

De esta manera:

- No se puede cerrar el seccionador Q57-T1 (T2) mientras los tres polos del seccionador Q57-L1 (L2) no estén cerrados.
- Mientras el seccionador Q57-T1 (T2) permanezca cerrado, no se puede abrir ningún polo del seccionador Q57-L1 (L2).

En funcionamiento normal estos seccionadores deberán permanecer abiertos.

## **6.7 Regulador de tensión de transformador de tracción**

### **6.7.1 Nivel de mando**

#### **6.7.1.1 Pie de equipo**

Desde el armario que controla el equipo en el propio transformado, T1 o T2.

El conmutador "local/ distancia" deberá estar en posición "local". Existe un visualizador con el número de tomas (1 a 21) y una palanca que movida hacia la derecha sube un punto la toma, y movida hacia la izquierda baja un punto.

#### **6.7.1.2 Bastidor sinóptico**

Para poder maniobrar el regulador en carga desde el bastidor sinóptico se deben cumplir las siguientes condiciones:

- Conmutador "local/ distancia" a pie de equipo en posición "distancia".
- Conmutador "local/ remoto" del sinóptico en posición "local".
- Conmutador "automático/ manual" del armario de transformador en posición "manual".

Se sube y baja un punto cada vez que se pulsa el correspondiente pulsador. Existe visualizador para comprobar la posición de la toma.

#### **6.7.1.3 POL/ Telemando**

Para maniobrar desde el POL se deben cumplir las siguientes condiciones:

- Conmutador "local/ distancia" a pie de equipo en posición "distancia".
- Conmutador "local/ remoto" del bastidor sinóptico en posición "remoto".
- Conmutador "automático/ manual" del armario de transformador en posición "manual".
- Conmutador "subestación/ Telemando" del sinóptico en posición "subestación".

Para maniobrar desde el Telemando se deben cumplir las siguientes condiciones:

- Conmutador "local/ distancia" a pie de equipo en posición "distancia".
- Conmutador "local/ remoto" del bastidor sinóptico en posición "remoto".
- Conmutador "automático/ manual" del armario de transformador en posición "manual".
- Conmutador "subestación/ Telemando" del sinóptico en posición "Telemando".

#### **6.7.1.4 Mando automático (U.C.S)**

Para que se pueda maniobrar automáticamente se deben cumplir las siguientes condiciones:

- Conmutador "local/ distancia" a pie de equipo en posición "distancia".



- Conmutador " automático/ manual" del armario de transformador en posición "automático".
- Resto de conmutadores indistinto.

En este caso el relé KVGC-102 de cada transformador se encarga de la regulación automática de la tensión primaria, tomando en cuenta su carga (gracias a la señal de tensión y de intensidad que recibe de la cabina de acometida de transformador en 27,5 kV).

#### **6.7.2 Indicaciones**

A pie de equipo existe un reloj con 21 marcas correspondientes a cada una de las tomas del transformador. Están numeradas del 1 al 21 correspondiendo el 11 a la toma media.

En el bastidor sinóptico existe otro indicador de similares características.

En el POL se visualiza en pantalla la posición en que se encuentra el regulador. La señalización es permanente en cada equipo de visualización independientemente de la posición de los conmutadores de mando.

#### **6.7.3 Enclavamientos**

No existen enclavamientos con otros equipos.

### **6.8 Interruptor 27,5 kV acometida transformador tracción (Q52-T1, Q52-T2)**

#### **6.8.1 Nivel de mando**

##### **6.8.1.1 Pie de equipo**

El equipo se encuentra situado en el grupo de cabinas de 27,5 kV. Para poder maniobrar desde la cabina el conmutador "local/ remoto" deberá estar en posición "local".

La maniobra se realiza desde los pulsadores del frontal superior de la cabina de acometida de transformador en 27,5 kV. Mediante manivela se pueden cargar los muelles del interruptor. Esta manivela solo se debe utilizar en caso de fallo del motor de carga de muelles por lo que cuando se inserte la manivela se deshabilitará dicho motor.

En caso de que el conmutador "local/ remoto" se encuentre en posición "remoto", solo se podrá utilizar el pulsador "abrir" del interruptor. No se podrá utilizar la manivela.

#### 6.8.1.2 Bastidor sinóptico

Para poder maniobrar desde el bastidor sinóptico se deben dar las siguientes condiciones:

- Conmutador "local/ remoto" a pie de equipo en posición "remoto".
- Conmutador "local/ remoto" en sinóptico en posición "local".
- Conmutador "subestación/ Telemando" independiente.

Se manda abrir o cerrar el interruptor con el conmutador "Giro-Empuje-Lámpara" correspondiente del cuadro sinóptico.

#### 6.8.1.3 POL/ Telemando

Para poder maniobrar desde el POL se deben dar las siguientes condiciones:

- Conmutador "local/ remoto" a pie de equipo en posición "remoto".
- Conmutador "local/ remoto" en sinóptico en posición "remoto".
- Conmutador "subestación/ Telemando" en sinóptico en posición "subestación".

Para poder maniobrar desde el Telemando se deben dar las siguientes condiciones:

- Conmutador "local/ remoto" a pie de equipo en posición "remoto".
- Conmutador "local/ remoto" en sinóptico en posición "remoto".
- Conmutador "subestación/ Telemando" en sinóptico en posición "Telemando".

#### 6.8.2 Indicaciones

En la cabina de acometida de transformador en 27,5 kV existirá una indicación de posición del interruptor abierto o cerrado.

En el bastidor sinóptico deberá lucir la lámpara cuando la posición del interruptor y las manetas sean distintas. Cuando las posiciones coincidan, la lámpara permanecerá apagada.

#### 6.8.3 Enclavamientos

Existe un enclavamiento eléctrico que impide que el interruptor Q52-T1 (T2) se cierre si hay presencia de tensión e en tramo de circuito A.T. después del seccionador Q89-L1 (L2).

Por otra parte, el dispositivo de puesta a tierra de las cabinas 27,5 kV está previsto de forma que al cerrar el seccionador de tierra Q57-T1 (T2), de la misma cabina, se cierre el interruptor Q52-T1 (T2). El interruptor queda enclavado mecánicamente en posición "cerrado" mientras el seccionador de tierra permanezca cerrado. El inicio de la apertura del Q57-T1 (T2) provoca la apertura del Q52-T1 (T2).

El interruptor Q52-T1 (T2) no podrá cerrarse si existe tensión en el medio juego de barras correspondiente.

## **6.9 Seccionador de línea de acometida trafo 27,5 kV (Q89-T1, Q89-T2)**

### **6.9.1 Nivel de mando**

#### **6.9.1.1 Pie de equipo**

El equipo se encuentra situado en el grupo de cabinas de 27,5 kV. . Para poder maniobrar desde la cabina el conmutador "local/ remoto" deberá estar en posición "local".

Este equipo no tiene mando eléctrico a pie de equipo. Su accionamiento se debe realizar mediante manivela. Para ello será necesario girar la palanca que permite el acceso a la manivela.

#### **6.9.1.2 Bastidor sinóptico**

Para poder maniobrar desde el bastidor sinóptico se deben dar las siguientes condiciones:

- Conmutador "local/ remoto" a pie de equipo en posición "remoto".
- Conmutador "local/ remoto" del sinóptico en posición "local".
- Conmutador "subestación/ Telemando" del sinóptico en posición "subestación".

Los seccionadores de línea Acometida Trafo 27,5 kV no se mandan desde el bastidor sinóptico.

#### **6.9.1.3 POL/ Telemando**

Para poder maniobrar desde el POL se deben dar las siguientes condiciones:

- Conmutador "local/ remoto" a pie de equipo en posición "remoto".
- Conmutador "local/ remoto" en sinóptico en posición "remoto".
- Conmutador "subestación/ Telemando" en sinóptico en posición "subestación".

Para poder maniobrar desde el Telemando se deben dar las siguientes condiciones:

- Conmutador "local/ remoto" a pie de equipo en posición "remoto".
- Conmutador "local/ remoto" en sinóptico en posición "remoto".
- Conmutador "subestación/ Telemando" en sinóptico en posición "Telemando".

### **6.9.2 Indicaciones**

En la cabina de acometida de transformador en 27,5 kV existirá una indicación de posición del seccionador abierto o cerrado. En el POL/ Telemando se indicara su estado en la pantalla.

En el bastidor sinóptico deberá lucir la lámpara cuando la posición del interruptor y la mantea sean distintas. Cuando las posiciones coincidan, la lámpara permanecerá apagada.

### **6.9.3 Enclavamiento**

Existe un enclavamiento eléctrico y mecánico entre el seccionador Q89-T1 (T2) y el interruptor Q52-T1 (T2) de forma que no se pueda maniobrar el seccionador mientras el interruptor permanece cerrado.

Existe otro enclavamiento eléctrico y mecánico con el seccionador de puesta a tierra asociado Q57-T1 (T2) que impide el cierre de ambos seccionadores simultáneamente.

Existe un enclavamiento eléctrico entre el seccionador Q89-T1 (T2) y el seccionador de puesta a tierra de barras Q57-RC1 (RC2) que impide que ambos estén cerrados simultáneamente.

## **6.10 Seccionador de puesta a tierra acometida trafo 27,5 kV ( Q57-T1, Q57-T2)**

### **6.10.1 Nivel de mando**

#### **6.10.1.1 Pie de equipo**

El equipo se encuentra situado en el grupo de cabinas de 27,5 kV. Para poder maniobrar desde la cabina el conmutador "local/ remoto" a pie de equipo tiene que estar en posición "local".

Este equipo no tiene mando eléctrico. Su accionamiento se debe realizar exclusivamente mediante manivela. Para ello será necesario girar la palanca que permite el acceso a la manivela.

En posición del conmutador en "remoto" no se permite el acceso a la manivela.

#### **6.10.1.2 Bastidor sinóptico**

No tiene mando desde el bastidor sinóptico

#### **6.10.1.3 POL/ Telemando**

No tiene mando desde el POL/ Telemando

### 6.10.2 Indicaciones

En la cabina de acometida de transformador en 27,5 kV existirá una indicación de posición del seccionador abierto o cerrado. En el POL/ Telemando se indicará su estado en la pantalla.

En el bastidor sinóptico deberá lucir la lámpara cuando la posición del interruptor y la maneta sean distintas. Cuando las posiciones coincidan, la lámpara permanecerá apagada.

### 6.10.3 Enclavamiento

Existe un enclavamiento eléctrico y mecánico entre el seccionador Q57-T1 (T2) y el seccionador Q89-T1 (T2) que impide que ambos seccionadores estén cerrados simultáneamente.

Existe un enclavamiento mecánico entre el seccionador Q57-T1 (T2) y el interruptor Q57-T1 (T2) de forma que no se puede cerrar el seccionador si está cerrado el interruptor.

Existe una maniobra en la cabina que cierra el interruptor Q52-T1 (T2) en el momento que se termina de cerrar el seccionador Q57-T1 (T2). Esa maniobra también es inversa de forma que cuando se empieza a abrir el seccionador Q57-T1 (T2), se abre el interruptor Q52-T1 (T2). Dicho interruptor permanecerá enclavado mientras el seccionador Q57-Tn esté cerrado.

Existe un enclavamiento mecánico mediante llave entre el seccionador Q57-T1 (T2) y el seccionador de puesta a tierra de 220 kV Q57-L1 (L2) de modo que no se puede cerrar el seccionador Q57-T1 (T2) hasta que no se ha cerrado el seccionador Q57-L1 (L2):

En cada polo del seccionador Q57-L1 (L2), hay una llave (L1) prisionera en una cerradura (C1) mientras el polo no esté en posición cerrado.

Cuando el polo se encuentra en posición cerrado, la llave L1 se puede extraer. El polo permanecerá bloqueado en posición "cerrado" mientras la llave L1 no se vuelva a reponer en la cerradura C1.

Las tres llaves L1 de los tres polos de una calle se llevan entonces a un clavijero ubicado en el edificio de la subestación, y se insertan en tres cerraduras C'1.

Las tres cerraduras C'1 están enclavadas con una cuarta cerradura C'2, en la cual está prisionera una llave L'2. La llave L'2 permanecerá prisionera en C'2 mientras las tres llaves L1 no estén insertadas en las cerraduras C'1.

Una vez que las tres llaves L1 son insertadas en las tres cerraduras C'1, la llave L'2 se puede extraer de la cerradura C'2. Las llaves L1 permanecerán prisioneras mientras la llave L'2 no se vuelva a insertar en C'2.

La llave L'2 es necesaria para poder cerrar el seccionador de tierra Q57-T1 (T2).

De esta manera:

- No se puede cerrar el seccionador Q57-T1 (T2) mientras los tres polos del seccionador Q89-L1 (L2) no estén abiertos
- Mientras el seccionador Q57-T1 (T2) permanezca cerrado, no se puede cerrar ningún polo del seccionador Q89-L1 (L2).

En funcionamiento normal estos seccionadores deberán permanecer abiertos.

## **6.11 Interruptor de acoplamiento de barras 27,5 kV Q52-A1**

### **6.11.1 Nivel de mando**

#### **6.11.1.1 Pie de equipo**

El equipo se encuentra situado en el grupo de cabinas de 27,5 kV. Para poder maniobrar desde la cabina el conmutador "local/remoto a pie de equipo tiene que estar en posición "local.

La maniobra se realiza desde los pulsadores de frontal superior de la cabina de acoplamiento de barras de 27,5 kV. Mediante manivela se pueden cargar los muelles del interruptor. Esta manivela solo se debe utilizar en caso de fallo del motor de carga de muelles por lo que cuando se inserte la manivela se deshabilitará dicho motor.

En el caso de que el conmutador "local/ remoto" se encuentre en posición "remoto", solo se podrá utilizar el pulsador "abrir del interruptor, no se podrá utilizar la manivela.

#### **6.11.1.2 Bastidor sinóptico**

Para poder maniobrar el interruptor desde el sinóptico se deben dar las siguientes condiciones:

- Conmutador "local/ remoto" a pie de equipo en posición "remoto".
- Conmutador "local/ remoto" del sinóptico en posición "local".
- Conmutador "subestación/ Telemando" del sinóptico indiferente.

Se manda abrir o cerrar el interruptor con el conmutador "Giro-Empuje-Lámpara" correspondiente del cuadro sinóptico.

#### 6.11.1.3 POL/ Telemando

Para poder maniobrar desde el POL se deben dar las siguientes condiciones:

- Conmutador "local/ remoto" a pie de equipo en posición "remoto".
- Conmutador "local/ remoto" del sinóptico en posición "remoto".
- Conmutador "subestación/ Telemando" del sinóptico en posición "subestación".

Para poder maniobrar desde el Telemando se deben dar las siguientes condiciones:

- Conmutador "local/ remoto" a pie de equipo en posición "remoto".
- Conmutador "local/ remoto" del sinóptico en posición "remoto".
- Conmutador "subestación/ Telemando" del sinóptico en posición "Telemando".

#### 6.11.2 Indicaciones

En la cabina de acoplamiento de barras de 27,5 kV existirá una indicación de posición del interruptor abierto o cerrado.

En el bastidor sinóptico deberá lucir la lámpara cuando la posición del interruptor y la maneta sean distintas. Cuando las posiciones coincidan, la lámpara permanecerá apagada.

En el POL/ Telemando se indicará su estado en la pantalla.

#### 6.11.3 Enclavamientos

Existe un enclavamiento eléctrico y mecánico con el seccionador Q89-RC1 y con el seccionador Q89-RC2 de forma que no se pueden maniobrar ninguno de los dos si está cerrado el interruptor Q52-A1

Existe un enclavamiento eléctrico con los interruptores de acometida a transformador en 27,5 kV, Q52-T1 y Q52-T2, de forma que no puedan estar simultáneamente los tres cerrados.

Existe un enclavamiento eléctrico con los seccionadores de puesta a tierra de barras Q57-RC1 y Q57-RC2. No se puede cerrar el seccionador Q57-RC1 (RC2) si está cerrado el interruptor Q52-A1. Y una vez que un seccionador de puesta a tierra de barras Q57-RC1 (RC2) está cerrado, no se puede abrir el interruptor Q52-A1.

El interruptor Q52-A1 dispara con ausencia de tensión en ambos medios juegos de barras.

El interruptor Q52-A1 no podrá cerrarse con presencia de tensión en ambos medios juegos de barras o ausencia de tensión en ambas, es decir debe existir tensión en solo una de las barras para poder cerrar.

## **6.12 Seccionador de barras-cabina de acoplamiento 27,5 kV Q89-RC1**

### **6.12.1 Nivel de mando**

#### **6.12.1.1 Pie de equipo**

El equipo se encuentra situado en el grupo de cabinas de 27,5 kV. Para poder maniobrar desde la cabina el conmutador "local/ remoto" a pie de equipo tiene que estar en posición "local".

Este equipo no tiene mando eléctrico a pie de equipo. Su accionamiento se debe realizar mediante manivela. Para ello será necesario girar la palanca que permite el acceso a la manivela.

En posición del conmutador en "remoto" no se permite el acceso a la manivela.

#### **6.12.1.2 Bastidor sinóptico**

Para poder maniobrar desde el bastidor sinóptico se deben dar las siguientes condiciones:

- Conmutador "local/ remoto" a pie de equipo en posición "remoto".
- Conmutador "local/ remoto" del sinóptico en posición "local".
- Conmutador "subestación/ Telemando" del sinóptico en posición "subestación".

#### **6.12.1.3 POL/Telemando**

Para poder maniobrar desde el POL se deben dar las siguientes condiciones:

- Conmutador "local/ remoto" a pie de equipo en posición "remoto".
- Conmutador "local/ remoto" del sinóptico en posición "remoto".
- Conmutador "subestación/ Telemando" del sinóptico en posición "subestación".

Para poder maniobrar desde el Telemando se deben dar las siguientes condiciones:

- Conmutador "local/ remoto" a pie de equipo en posición "remoto".
- Conmutador "local/ remoto" del sinóptico en posición "remoto".
- Conmutador "subestación/ Telemando" del sinóptico en posición "Telemando".

### **6.12.2 Indicaciones**

En la cabina de acoplamiento de barras de 27,5 kV existirá una indicación de posición del seccionador abierto o cerrado. En el POL/Telemando se indicará su estado en la pantalla.

En el bastidor sinóptico deberá lucir la lámpara cuando la posición del interruptor y la maneta sean distintas. Cuando las posiciones coincidan, la lámpara permanecerá apagada.



### 6.12.3 Enclavamientos

Existe un enclavamiento eléctrico y mecánico con el interruptor Q52-A1 de forma que no se puede maniobrar el seccionador mientras permanezca cerrado dicho interruptor.

Existe un enclavamiento eléctrico y mecánico con el seccionador de puesta a tierra Q57-RC1 de forma que no se puede maniobrar si dicho seccionador está cerrado.

Existe un enclavamiento eléctrico con el seccionador de puesta a tierra Q57-RC2 de forma que no se puede abrir el Q89-RC1 si está cerrado el seccionador Q57-RC2.

## 6.13 Seccionador de barras -cabina remonte de barras Q89-RC2

### 6.13.1 Nivel de mando

#### 6.13.1.1 Pie de equipo

El equipo se encuentra ubicado en la cabina de Seccionamiento y Remonte de barras en 27,5 kV. Para su maniobra el conmutador "local/ remoto" a pie de equipo tiene que estar en posición "local".

Este equipo no tiene mando eléctrico a pie de equipo. Su accionamiento se debe realizar mediante manivela. Para ello será necesario girar la palanca que permite el acceso a la manivela.

En posición del conmutador en "remoto" no se permite el acceso a la manivela.

#### 6.13.1.2 Bastidor sinóptico

Para poder maniobrar desde el bastidor sinóptico se deben dar las siguientes condiciones:

- Conmutador "local/ remoto" a pie de equipo en posición "remoto".
- Conmutador "local/ remoto" del sinóptico en posición "local".
- Conmutador "subestación/ Telemando" del sinóptico en posición "subestación".

#### 6.13.1.3 POL/Telemando

Para poder maniobrar desde el POL se deben dar las siguientes condiciones:

- Conmutador "local/ remoto" a pie de equipo en posición "remoto".
- Conmutador "local/ remoto" del sinóptico en posición "remoto".
- Conmutador "subestación/ Telemando" del sinóptico en posición "subestación".

Para poder maniobrar desde el Telemando se deben dar las siguientes condiciones:

- Conmutador "local/ remoto" a pie de equipo en posición "remoto".
- Conmutador "local/ remoto" del sinóptico en posición "remoto".
- Conmutador "subestación/ Telemando" del sinóptico en posición "Telemando".

#### **6.13.2 Indicaciones**

En la cabina de Seccionamiento y Remonte de barras de 27,5 kV existirá una indicación de posición del seccionador abierto o cerrado. En el POL/Telemando se indicará su estado en la pantalla.

En el bastidor sinóptico deberá lucir la lámpara cuando la posición del interruptor y la maneta sean distintas. Cuando las posiciones coincidan, la lámpara permanecerá apagada.

#### **6.13.3 Enclavamientos**

Existe un enclavamiento eléctrico y mecánico con el interruptor Q52-A1 de forma que no se puede maniobrar el seccionador mientras permanezca cerrado dicho interruptor.

Existe un enclavamiento eléctrico y mecánico con el seccionador de puesta a tierra Q57-RC2 de forma que no se puede maniobrar si dicho seccionador está cerrado.

Existe un enclavamiento eléctrico con el seccionador de puesta a tierra Q57-RC1 de forma que no se puede abrir el Q89-RC2 si está cerrado el seccionador Q57-RC1.

### **6.14 Seccionador de puesta a tierra barras (Q57-RC1, Q57-RC2)**

#### **6.14.1 Nivel de mando**

##### **6.14.1.1 Pie de equipo**

El equipo se encuentra situado en la cabina de Acoplamiento de barras de 27,5 kV. Para su maniobra el conmutador "local/ remoto" a pie de equipo tiene que estar en posición "local".

Este equipo no tiene mando eléctrico. Su accionamiento se debe realizar exclusivamente mediante manivela. Para ello será necesario girar la palanca que permite el acceso a la manivela.

En posición del conmutador en "remoto" no se permite el acceso a la manivela.

##### **6.14.1.2 Bastidor sinóptico**

No tiene mando desde el bastidor sinóptico

#### **6.14.1.3 POL/ Telemando**

No tiene mando desde el POL/ Telemando

#### **6.14.2 Indicaciones**

En la cabina de acoplamiento de barras 27,5 kV existirá una indicación de posición del seccionador abierto o cerrado. En el POL/ Telemando se indicará su estado en la pantalla.

En el bastidor sinóptico deberá lucir la lámpara cuando la posición del interruptor y la maneta sean distintas. Cuando las posiciones coincidan, la lámpara permanecerá apagada.

#### **6.14.3 Enclavamientos**

Existe un enclavamiento eléctrico y mecánico con el Q89-RC1 (RC2) que impide la maniobra del Q57-RC1 (RC2) con el Q89-RC1 (RC2) cerrado.

Existirá un enclavamiento eléctrico con los seccionadores Q89-T2, Q89-C21 y Q89-C22 que impide el cierre del seccionador Q57-RC1 si está alguno de los anteriores cerrado.

Existirá un enclavamiento eléctrico con los seccionadores Q89-T1, Q89-C11 y Q89-C12 que impide el cierre del seccionador Q57-RC2 si está alguno de los anteriores cerrado.

Cuando se cierra el seccionador Q57-RC1 (RC2), se cierra automáticamente el interruptor Q52-A1. Cuando se comienza la maniobra de apertura del seccionador Q57-RC1 (RC2), se abre automáticamente el interruptor Q52-A1.

### **6.15 Seccionador de salida catenaria/feeder 27,5 kV (Q89-C11, Q89-C12, Q89-C21, Q89-C22)**

#### **6.15.1 Nivel de mando**

##### **6.15.1.1 Pie de equipo**

El equipo se encuentra situado en la cabina 27,5 kV de Salida Catenaria/Feeder. Para su maniobra el conmutador "local/ remoto" a pie de equipo tiene que estar en posición "local".

Este equipo no tiene mando eléctrico a pie de equipo. Su accionamiento se debe realizar mediante manivela. Para ello será necesario girar la palanca que permite el acceso a la manivela.

En posición del conmutador en "remoto" no se permite el acceso a la manivela.

#### **6.15.1.2 Bastidor sinóptico**

No tiene mando desde el bastidor sinóptico

#### **6.15.1.3 POL/Telemando**

Para poder maniobrar desde el POL se deben dar las siguientes condiciones:

- Conmutador "local/ remoto" a pie de equipo en posición "remoto".
- Conmutador "local/ remoto" del sinóptico en posición "remoto".
- Conmutador "subestación/ Telemando" del sinóptico en posición "subestación".

Para poder maniobrar desde el Telemando se deben dar las siguientes condiciones:

- Conmutador "local/ remoto" a pie de equipo en posición "remoto".
- Conmutador "local/ remoto" del sinóptico en posición "remoto".
- Conmutador "subestación/ Telemando" del sinóptico en posición "Telemando".

#### **6.15.2 Indicaciones**

En la cabina de Salida Catenaria/Feeder 1.1, 1.2, 2.1, 2.2, existirá una indicación de posición del seccionador abierto o cerrado.

En el POL/Telemando se indicará su estado en la pantalla, distinguiendo entre abierto, cerrado o indeterminado.

#### **6.15.3 Enclavamientos**

Existe un enclavamiento eléctrico y mecánico con el interruptor Q52-C11, Q52-C12, Q52-C21, Q52-C22 de forma que no se puede maniobrar el seccionador se está cerrado el interruptor.

Existe un enclavamiento eléctrico y mecánico con el seccionador de puesta a tierra Q57-C11, Q57-C12, Q57-C21, Q57-C22 que impide que ambos seccionadores puedan estar cerrados simultáneamente.

## **6.16 Seccionador de puesta a tierra de salida catenaria/feeder 27,5 kV (Q57-C1.1, Q57-C1.2, Q57-C2.1, Q57-C2.2)**

### **6.16.1 Nivel de mando**

#### **6.16.1.1 Pie de equipo**

El equipo se encuentra situado en la cabina 27,5 kV de Salida Catenaria/Feeder 1.1, 1.2, 2.1 o 2.2. Para su maniobra el conmutador "local/ remoto" a pie de equipo tiene que estar en posición "local".

Este equipo no tiene mando eléctrico. Su accionamiento se debe realizar exclusivamente mediante manivela. Para ello será necesario girar la palanca que permite el acceso a la manivela.

En posición del conmutador en "remoto" no se permite el acceso a la manivela.

#### **6.16.1.2 Bastidor sinóptico**

No tiene mando desde el bastidor sinóptico.

#### **6.16.1.3 POL/Telemando**

No tiene mando desde el POL/Telemando.

### **6.16.2 Indicaciones**

En la cabina de Salida Catenaria/Feeder 1.1, 1.2, 2.1, 2.2, existirá una indicación de posición del seccionador abierto o cerrado.

En el POL/Telemando se indicará su estado en la pantalla, distinguiendo entre abierto, cerrado o indeterminado.

### **6.16.3 Enclavamientos**

Existe un enclavamiento eléctrico y mecánico con los seccionadores de salida Q89-C1.1, Q89-C1.2, Q89-C2.1, Q89-C2.2 que impide que ambos seccionadores puedan estar cerrados simultáneamente.

Cuando se cierra el seccionador Q57-C1.1, Q57-C1.2, Q57-C2.1, Q57-C2.2 se cierra automáticamente el interruptor Q52-C1.1, Q52-C1.2, Q52-C2.1, Q52-C2.2. Cuando se comienza la maniobra de apertura del seccionador de puesta a tierra Q57-Cnm, se abre automáticamente el interruptor Q52-Cnm.

Existe un enclavamiento por cerradura con el seccionador de Pórtico Catenaria Q89-PC1.1, Q89-PC1.2, Q89-PC2.1, Q89-PC2.2, que impide que ambos seccionadores puedan estar cerrados simultáneamente:

En cada seccionador de Pórtico Catenaria, hay una llave L1, prisionera en una cerradura C1 mientras el seccionador no esté en posición "abierto".

Cuando el seccionador de Pórtico Catenaria se encuentra en posición "abierto", la llave L1 se puede extraer. El seccionador de Pórtico Catenaria permanece bloqueado en posición "abierto" hasta que la llave L1 se vuelva a reponer en la cerradura C1.

La llave L1 es necesaria para poder cerrar el Seccionador de puesta a tierra de la Salida Catenaria/Feeder 27,5 kV que corresponde al Seccionador de Pórtico Catenaria correspondiente.

De esta manera:

- No se puede cerrar un Seccionador de puesta a tierra de Salida Catenaria/Feeder 27,5 kV, mientras el seccionador de Pórtico Catenaria correspondiente no esté abierto.
- Mientras el Seccionador de puesta a tierra de una Salida Catenaria/Feeder 27,5 kV permanezca cerrado, no se puede cerrar el Seccionador de Pórtico Catenaria correspondiente.

## **6.17 Interruptor de salida catenaria/feeder 27,5 kV (Q52-C1.1, Q52-C1.2, Q52-C2.1, Q52-C2.2)**

### **6.17.1 Nivel de mando**

#### **6.17.1.1 Pie de equipo**

El equipo se encuentra situado en la cabina 27,5 kV de Salida Catenaria/Feeder 1.1, 1.2, 2.1 o 2.2. Para su maniobra el conmutador "local/ remoto" a pie de equipo tiene que estar en posición "local".

La maniobra se realiza desde los pulsadores del frontal superior de la cabina de Salida Catenaria/Feeder 27,5 kV 1.1, 1.2, 2.1 o 2.2. Mediante manivela se pueden cargar los muelles del interruptor. Esta manivela solo se debe utilizar en caso de fallo del motor de carga de muelles por lo que cuando se inserte la manivela se deshabilitará dicho motor.

Si el conmutador "local/ remoto" se encuentra en posición "remoto", solo se podrá utilizar el pulsador "abrir" del interruptor. No se podrá utilizar la manivela.

#### **6.17.1.2 Bastidor sinóptico**

Este interruptor no tiene mando desde el bastidor sinóptico.

#### **6.17.1.3 POL/Telemando**

Para poder maniobrar el equipo desde el POL se deben dar las siguientes condiciones:

- Conmutador "local/ remoto" a pie de equipo en posición "remoto".

- Conmutador "local/ remoto" del sinóptico en posición "remoto".
- Conmutador "subestación/ Telemando" del sinóptico en posición "subestación".

Para poder maniobrar el equipo desde el Telemando se deben dar las siguientes condiciones:

- Conmutador "local/ remoto" a pie de equipo en posición "remoto".
- Conmutador "local/ remoto" del sinóptico en posición "remoto".
- Conmutador "subestación/ Telemando" del sinóptico en posición "Telemando".

#### **6.17.2 Indicaciones**

En la cabina de Salida Catenaria/Feeder 1.1, 1.2, 2.1, 2.2, existirá una indicación de posición del interruptor abierto o cerrado.

En el POL/Telemando se indicará su estado en la pantalla, distinguiendo entre abierto, cerrado o indeterminado.

#### **6.17.3 Enclavamiento**

Existe un enclavamiento eléctrico y mecánico con el seccionador Q89-C1.1, Q89-C1.2, Q89-C2.1, Q89-C2.2, de forma que no se pueda maniobrar el seccionador si el interruptor está cerrado.

Existe un enclavamiento eléctrico con el seccionador de Pórtico de Catenaria Q89-PC1.1, Q89-PC1.2, Q89-PC2.1, Q89-PC2.2, de forma que no se puede maniobrar el citado seccionador si el interruptor está cerrado.

El interruptor se cerrará automáticamente cuando esté cerrado el seccionador de puesta a tierra Q57-C1.1, Q57-C1.2, Q57-C2.1, Q57-C2.2, y se abrirá automáticamente cuando comience la apertura del mencionado seccionador de puesta a tierra.

El interruptor Q52-Cmn podrá cerrarse si el seccionador de pórtico correspondiente está abierto.

El interruptor Q52-Cmn disparará si se introduce la manivela de accionamiento es su seccionador de pórtico Q89-PCmn correspondiente.

## **6.18 Seccionador de Pórtico de Catenaria Q89-PC1.1, Q89-PC1.2, Q89-PC2.1, Q89-PC2.2**

### **6.18.1 Nivel de mando**

#### **6.18.1.1 Pie de equipo**

El seccionador se encuentra ubicado en el pórtico de Salida a Catenaria /Feeder correspondiente. Para poder maniobrar desde esta posición el conmutador "local/remoto" a pie de equipo tiene que estar en posición "local".

Se abre y cierra mediante los pulsadores correspondientes o bien usando la manivela.

Si el conmutador se encuentra en posición "remoto" los pulsadores no tienen ningún efecto y se puede introducir la manivela pero no se puede maniobrar.

#### **6.18.1.2 Bastidor sinóptico**

No tiene mando desde el bastidor sinóptico

#### **6.18.1.3 POL/Telemando**

Para poder maniobrar el seccionador desde el POL se deben dar las siguientes condiciones:

- Conmutador "local/ remoto" a pie de equipo en posición "remoto".
- Conmutador "local/ remoto" del sinóptico en posición "remoto".
- Conmutador "subestación/ Telemando" del sinóptico en posición "subestación".

Para poder maniobrar el seccionador desde el Telemando se deben dar las siguientes condiciones:

- Conmutador "local/ remoto" a pie de equipo en posición "remoto".
- Conmutador "local/ remoto" del sinóptico en posición "remoto".
- Conmutador "subestación/ Telemando" del sinóptico en posición "Telemando".

### **6.18.2 Indicaciones**

En el POL/Telemando deberán aparecer las indicaciones correspondientes de seccionador abierto, cerrado o indeterminado aunque no se tenga el mando en ese momento.

### **6.18.3 Enclavamientos**

Existe un enclavamiento eléctrico con el interruptor Q52-C1.1, Q52-C1.2, Q52-C2.1, Q52-C2.2, de forma que si el interruptor está cerrado no se puede maniobrar el seccionador.



Existe un enclavamiento por llave con el seccionador de puesta a tierra Q57-C1.1, Q57-C1.2, Q57-C2.1, Q57-C2.2, de modo que ambos seccionadores no pueden estar cerrados simultáneamente:

En cada seccionador de Pórtico Catenaria, hay una llave L1, prisionera en una cerradura C1 mientras el seccionador no esté en posición "abierto".

Cuando el seccionador de Pórtico Catenaria se encuentra en posición "abierto", la llave L1 se puede extraer. El seccionador de Pórtico Catenaria permanece bloqueado en posición "abierto" hasta que la llave L1 se vuelva a reponer en la cerradura C1.

La llave L1 es necesaria para poder cerrar el Seccionador de puesta a tierra de la Salida Catenaria/Feeder 27,5 kV que corresponde al Seccionador de Pórtico Catenaria.

De esa manera:

- No se puede cerrar un Seccionador de puesta a tierra de Salida Catenaria/Feeder 27,5 kV, mientras el seccionador de Pórtico Catenaria correspondiente no esté abierto.
- Mientras el Seccionador de puesta a tierra de una Salida Catenaria/Feeder 27,5 kV permanezca cerrado, no se puede cerrar el Seccionador de Pórtico Catenaria correspondiente.

## **6.19 Seccionador de apertura en carga de transformador de servicios auxiliares Q89-TSA1, Q89-TSA2**

### **6.19.1 Nivel de mando**

#### **6.19.1.1 Pie de equipo**

El equipo se encuentra ubicado en la celda 36 kV de alimentación a transformador de servicios auxiliares n. El equipo podrá ser accionado mediante la maneta siempre que el conmutador "local/ remoto" a pie de equipo se encuentre en posición "local".

Se puede utilizar una manivela para cargar y descargar los muelles.

Si el conmutador está en posición "remoto" no funciona la maneta y no se puede insertar la manivela.

#### **6.19.1.2 Bastidor sinóptico**

Este seccionador no tiene mando desde el bastidor sinóptico.

#### **6.19.1.3 POL/Telemando**

Para poder maniobrar el seccionador desde el POL se deben cumplir las siguientes condiciones:

- Conmutador "local/ remoto" a pie de equipo en posición "remoto".
- Conmutador "subestación/ Telemando" en sinóptico en posición "subestación".

Para poder maniobrar el seccionador desde el Telemando se deben cumplir las siguientes condiciones:

- Conmutador "local/ remoto" a pie de equipo en posición "remoto".
- Conmutador "subestación/ Telemando" en sinóptico en posición "Telemando".

#### **6.19.2 Indicaciones**

En la cabina de alimentación a transformador de servicios auxiliares no existirá una indicación de posición del seccionador abierto o cerrado.

En el POL/ Telemando se indicará su estado en la pantalla, distinguiendo entre abierto, cerrado o indeterminado.

#### **6.19.3 Enclavamiento**

Existe un enclavamiento eléctrico y mecánico con el seccionador de puesta a tierra correspondiente Q57-TSA<sub>n</sub> que impida que ambos seccionadores puedan estar cerrados simultáneamente.

### **6.20 Seccionador de puesta a tierra de transformador de servicios auxiliares Q57-TSA1, Q57-TSA2**

#### **6.20.1 Nivel de mando**

##### **6.20.1.1 Pie de equipo**

El equipo se encuentra ubicado en la celda 36 kV de alimentación a transformador de servicios auxiliares n. Para poder maniobrar, el conmutador "local/ remoto" a pie de equipo tiene que estar en posición "local".

Este equipo no tiene mando eléctrico. Su accionamiento se debe realizar exclusivamente mediante manivela. Para ello será necesario girar la palanca que permite el acceso a la manivela.

En posición del conmutador en "remoto" no se permite el acceso a la manivela.

##### **6.20.1.2 Bastidor sinóptico**

No tiene mando desde el bastidor sinóptico.

##### **6.20.1.3 POL/ Telemando**

No tiene mando desde el POL/ Telemando.

### 6.20.2 Indicaciones

En la cabina de alimentación a transformador de servicios auxiliares existirá una indicación de posición del seccionador abierto o cerrado.

En el POL/ Telemando se indicará su estado en la pantalla, distinguiendo entre abierto, cerrado o indeterminado.

### 6.20.3 Enclavamiento

Existe un enclavamiento eléctrico y mecánico con el seccionador Q89-TSA1, Q89-TSA2, que impide que ambos seccionadores puedan estar cerrados simultáneamente.

Existe un enclavamiento con la puerta de acceso al local del transformador de servicios auxiliares TSA1, TSA2, que impide el acceso a dicho local si el seccionador de puesta a tierra Q57-TSA1, Q57-TSA2, está abierto.

Existe un enclavamiento mecánico con la puerta de la cabina que impide su apertura si el seccionador Q57-TSA1, Q57-TSA2, está abierto.

## 6.21 Operación de la subestación. Situación normal

### 6.21.1 Subestación

Seccionadores 220 kV Q89-L1, Q89-L2 y de acometida general cerrados.

#### 6.21.1.1 Cabinas 27,5 kV

- Posición Acometida Trafo de Tracción, línea 1:
  - Seccionador de línea cerrado
  - Interruptor cerrado
- Posición Acometida Trafo de Tracción, línea 2:
  - Seccionador de línea cerrado
  - Interruptor cerrado
- Posición Acoplamiento y medida:
  - Seccionador de línea cerrado
  - Interruptor abierto
- Posición Seccionamiento y medida:
  - Seccionador de línea cerrado
- Posición Salida Catenaria/ Feeder, 1.1:
  - Seccionador de línea cerrado
  - Interruptor cerrado
- Posición Salida Catenaria/ Feeder, 1.2:

- Seccionador de línea cerrado
- Interruptor cerrado
- Posición Salida Catenaria/ Feeder, 2,1:
  - Seccionador de línea cerrado
  - Interruptor cerrado
- Posición Salida Catenaria/ Feeder 2,2:
  - Seccionador de línea cerrado
  - Interruptor cerrado

#### **6.21.1.2 Pórtico de Salida Catenaria/ Feeder**

- Seccionador 1.1 cerrado
- Seccionador 1.2 cerrado
- Seccionador 2.1 cerrado
- Seccionador 2.2 cerrado

#### **6.21.1.3 Cabinas SSAA**

- Salida Transformador SS/AA 1:
  - Interruptor cerrado
- Salida Transformador SS/AA 2:
  - Interruptor cerrado

#### **6.21.1.4 Cuadro Servicios Auxiliares 220 V**

- Interruptor de Acometida Transformador SS/AA 1 cerrado
- Interruptor de Acometida Transformador SS/AA 2 abierto
- Interruptor de Acoplamiento "Servicios Esenciales" cerrado
- Interruptor de Acometida Grupo Electrógeno abierto

#### **6.21.2 Nivel de Control**

En funcionamiento normal, los equipos están controlados desde la Unidad de Control de la Subestación (U.C.S).

### **6.22 Operación de la subestación- Situaciones degradadas**

#### **6.22.1 Fallo calle 220 kV, Trafo Tracción o Acometida Trafo 27,5 kV**

En caso de fallo en una de las dos acometidas, las maniobras por realizar son las siguientes:

- Abrir el interruptor de la cabina 27,5 kV Acometida Trafo de la calle en fallo.

- Comprobar la posición "cerrado" del interruptor 27,5 kV de la segunda Acometida Trafo, la ausencia de alarmas en la segunda calle, la presencia de tensión.
- Cerrar el interruptor de la cabina 27,5 kV Acoplamiento y medida.

Esta operación es realizada automáticamente por la U.C.S.

#### **6.22.2 Fallo en barra 27,5 kV**

En caso de fallo en las barras de 27,5 kV las maniobras a realizar son las siguientes:

Con interruptor de acoplamiento Q52-A1 abierto:

- Abrir interruptor de la cabina 27,5 kV Acometida Trafo de la calle en fallo.
- Abrir las salidas 27,5 kV Catenaria/ Feeder de la barra en fallo.
- Abrir la salida 36 kV Trafo SS/AA de la barra en fallo.
- Abrir la acometida Trafo SS/AA al cuadro 220 V de Servicios Auxiliares.

Si el fallo ha tocado la barra de 36 kV que alimentaba al Trafo SS/AA en servicio, la alimentación se puede auxiliar mediante el transformador SS/AA de la otra barra 36 kV. Para eso, cerrar el interruptor de acometida Trafo SS/AA al cuadro 220 V de Servicios Auxiliares, por el lado de la barra que sigue disponible.

Esas operaciones son realizadas automáticamente por la U.C.S.

Con interruptor de acoplamiento Q52-A1 cerrado:

- Abrir los interruptores de las cabinas 27,5 kV Acometida Trafo de las dos calles.
- Abrir todas las salidas 27,5 kV Catenaria/ Feeder.
- Abrir las salidas dos salidas 36 kV Trafos SS/AA.
- Abrir las acometidas Trafos SS/AA al cuadro 220 V de Servicios Auxiliares.

Al estar cerrado el interruptor de acoplamiento los dos trafos de SS/AA se aíslan y entra en funcionamiento el grupo electrógeno.

#### **6.22.3 Fallo Transformador SS/AA, Trafos SS/AA**

En caso de fallo en un transformador de Servicios Auxiliares, , si se trata del transformador que alimentaba el cuadro de Servicios Auxiliares, la alimentación se puede auxiliar mediante el transformador SS/AA de la otra salida 36 kV.

Para eso:

- Abrir el interruptor de acometida Trafo SS/AA al cuadro 220 V Servicios Auxiliares, de la acometida en fallo.

- Cerrar el interruptor de acometida Trafo SS/AA al cuadro 220 V Servicios Auxiliares, por el lado de la otra acometida.

Esas operaciones son realizadas automáticamente por la U.C.S.

#### **6.22.4 Fallo general Servicios Auxiliares**

En caso de fallo general de la alimentación a la subestación, o de fallo en la barra 220 V de Servicios Auxiliares Generales (no esenciales), la alimentación a los Servicios Auxiliares Esenciales se puede auxiliar mediante el Grupo Electrógeno. Para eso:

- Abrir interruptor de alimentación a la barra 220 V Servicios Esenciales.
- Iniciar la secuencia de arranque del grupo electrógeno, que se termina con el cierre del interruptor de alimentación a la barra 220 V Servicios Esenciales.

#### **6.22.5 Fallo de la U.C.S**

En caso de fallo de la U.C.S, todas las maniobras anteriormente descritas tendrán que realizarse manualmente, ya sea desde el bastidor sinóptico, ya sea localmente, a pie de equipo.

## Capítulo 7: Planificación

### 7.1 Planificación

El presente Trabajo Fin de Grado comenzó el día 15 de febrero de 2014 y consta de las siguientes tareas:

- Estado del arte
- Dimensionamiento eléctrico. S/E
- Manual de Operación y Maniobra
- Presupuesto
- Edición final del documento
- Revisión del documento
- Presentación PowerPoint

### 7.2 Estado del arte

En este documento se hace una introducción a la tracción eléctrica en España y a la evolución de las diferentes tecnologías del ferrocarril en España. También se explica la estructura de la electrificación ferroviaria así como los diferentes sistemas de electrificación que existen. Por último se explican brevemente los diferentes sistemas de aprovechamiento de la energía de frenado de los trenes.

La duración estimada es de 25 días.

### 7.3 Dimensionamiento eléctrico

En este documento se realizan los cálculos necesarios para el dimensionamiento eléctrico de la subestación de tracción y se describe la aparamenta seleccionada que cumple con los valores calculados.

La duración estimada es de 30 días.

### 7.4 Manual de Operación y Maniobra

En este documento se exponen las diferentes maniobras que se pueden ser realizadas en la subestación y desde que nivel de mando pueden ser realizadas así como las condiciones que se deben dar para la realización de dichas maniobras.

La duración estimada es de 31 días.

## **7.5 Presupuesto**

En este documento se expone el coste de cada componente de la subestación de tracción, así como el presupuesto por ejecución por contrata, el presupuesto de liquidación y el presupuesto total.

La duración estimada es de 7 días.

## **7.6 Edición final del documento**

Agrupación de todos los documentos que componen el TFG en uno solo.

La duración estimada es de 3 días.

## **7.7 Revisión del documento**

Revisión de los documentos anteriores, así como su corrección.

La duración estimada es de 31 días.

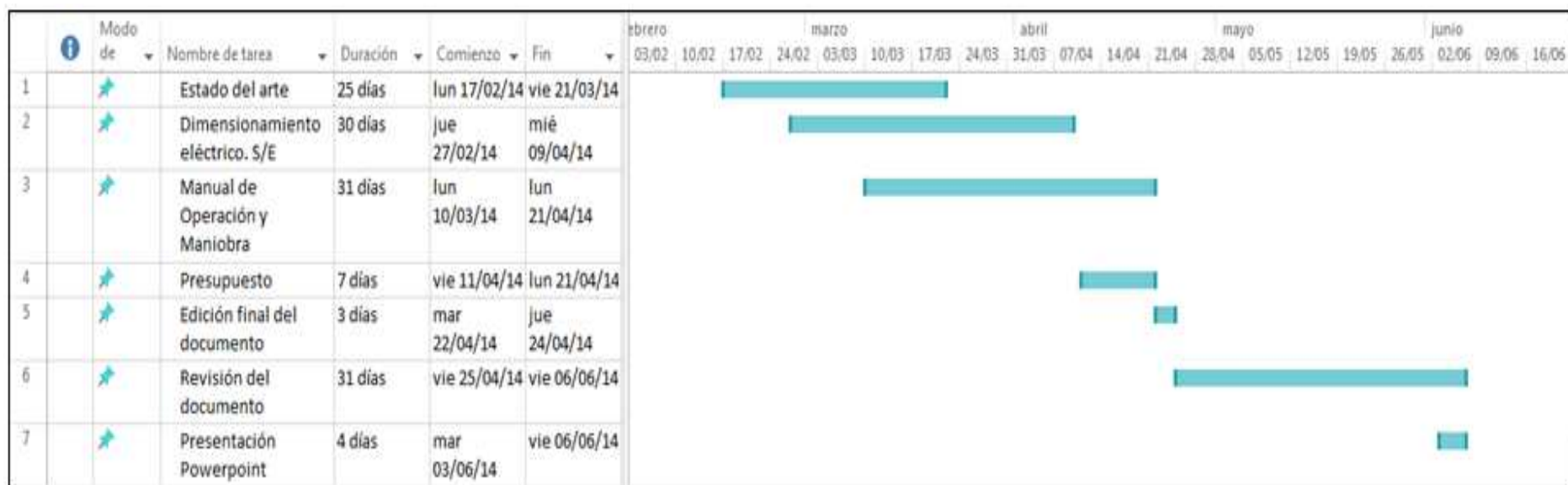
## **7.8 Presentación PowerPoint**

Realización del documento que será expuesto en la defensa del TFG en formato de PowerPoint.

La duración estimada es de 15 días.



## 7.9 Diagrama de Gantt



## Capítulo 8: Conclusiones

Una vez finalizado y alcanzados los objetivos que perseguía el presente trabajo fin de carrera, se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- Se ha visto como el transporte por ferrocarril es uno de los modos de transporte más importantes que existe en España, el cual ha experimentado una mayor evolución y crecimiento en los últimos años, y que presumiblemente seguirá creciendo, en concreto la tecnología AVE (Alta Velocidad Española) que ya está siendo exportada a otros países como por ejemplo Arabia Saudí.
- Desde el punto de vista de los diferentes métodos de electrificación que existen en la tracción eléctrica ferroviaria, se puede concluir que, dependiendo de la aplicación y del tipo de línea que se desee electrificar, será más conveniente utilizar la electrificación en corriente continua o la electrificación en corriente alterna. Por ejemplo, para líneas de largo recorrido y de elevada potencia demandada por los trenes, como es el caso de la alta velocidad, es conveniente usar la electrificación en corriente alterna.
- Se ha visto como calcular el dimensionamiento de una subestación de tracción de corriente alterna 1x25 kV mediante las fórmulas de cálculo de corrientes nominales y corrientes de cortocircuito, y se llega a la conclusión de que las corrientes de cortocircuito en el secundario de los transformadores son el doble cuando los transformadores se encuentran acoplados.
- Mediante el manual de operación se puede observar cómo funciona la subestación, ya se ven los niveles de mando que hay y que equipamiento se puede maniobrar desde cada uno dependiendo de la posición en la que se encuentre los diferentes conmutadores de equipamiento.

## Capítulo 9: Trabajos futuros

Las futuras líneas de trabajo que se pueden seguir son:

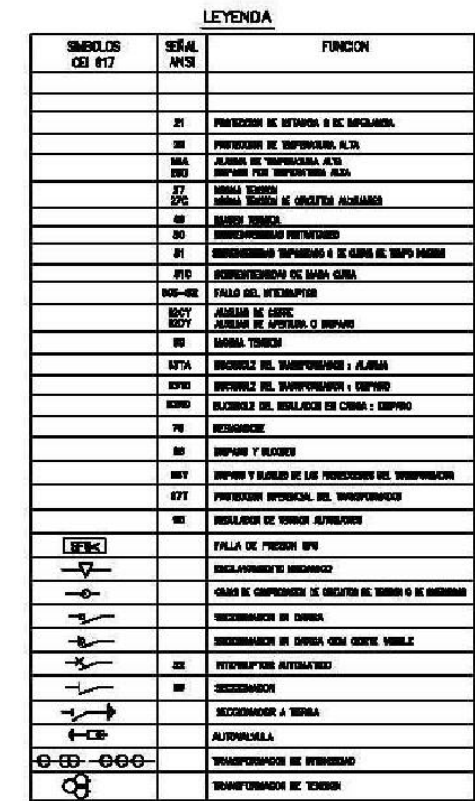
- Cálculo del dimensionamiento de futuras subestaciones de corriente alterna ya que se ha realizado la formulación en hojas Excel para el cálculo de corrientes, mallas de tierra, cables y embarrados, aisladores y pararrayos.
- Conocer la arquitectura de control de la subestación eléctrica.
- Conocer en profundidad la coordinación de las diferentes protecciones de la subestación eléctrica.
- Estudiar más en profundidad los diferentes sistemas de acumulación de energía de los trenes.


## Referencias

- [1] Baquer Sipiera, Luis. *Ferrocarril: sistemas de control en la alta velocidad*. Proyecto fin de carrera. Escuela Universitaria Ingeniería Técnica Industrial de Zaragoza, 2010.
- [2] Gómez Viñas, Juan Miguel. *Análisis y simulación de subestaciones de tracción en corriente continua con topología  $\Gamma$* . Proyecto fin de carrera. Universidad Carlos III de Madrid, 2011.
- [3] Ratés Palau, Sergi. *Modelización de los sistemas de electrificación ferroviaria, en corriente alterna y continua, con sistemas recuperadores de energía para el estudio de la eficiencia energética*. Tesis doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya, 2012.
- [4] Valero Rodríguez, Jorge. *Análisis y simulación de potenciales de carril en sistemas ferroviarios de tracción en DC*. Tesis de Máster. Universidad Carlos III de Madrid, 2011.
- [5] Llavina Juan, Jorge. *Diseño de las subestaciones eléctricas de tracción y centros de auto transformación asociados de una línea ferroviaria de alta velocidad*. Proyecto Fin de Carrera. Escola Técnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, 2010.
- [6] GIF, Gestor de Infraestructuras Ferroviarias. Martínez Acevedo, J. *La Electrificación Ferroviaria*. 2002.
- [7] TECNORAIL CO. *Sistemas de alimentación a la tracción eléctrica*. 2008.
- [8] Allenbach, J-M., Chapas, P., Comte, M. y Kaller R. *Traction électrique*. Presses polytechniques et universitaires romandes. 2nd Ed. 2008.
- [9] López Durán, Diego. *Estudio del aprovechamiento de la energía regenerada por los trenes*. Proyecto fin de carrera. Universidad Pontificia Comillas de Madrid, 2010.
- [10] <http://www.ferrolinera3-0.com/proyecto/asi-nacio/>
- [11] Martínez Iglesias, Eduardo. *Aprovechamiento de la energía de frenado regenerativo de los trenes de cercanías en las estaciones La Serna y Parque Polvoranca*. Proyecto fin de carrera. Universidad Carlos III de Madrid, 2012.
- [12] ElecRail. *Sistemas de almacenamiento de energía eléctrica embarcados en los trenes*. 2008
- [13] ADIF, Folleto ferrolinera.
- [14] Reglamento de Alta Tensión
- [15] Reglamento sobre centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación e instrucciones técnicas complementarias
- [16] <http://www.schneider-electric.com.ar/documents/recursos/cuadernostecnicos/ct1581.pdf>
- [17] <http://www.artech.com/es/productos-y-soluciones/categoria/transformadores-de-medida-media-tension-exterior>

- [18] [http://www.uco.es/electrotecnia-etsiam/reglamentos/Normativa\\_Iberdrola/iberdrola/ni\\_54\\_63\\_01.pdf](http://www.uco.es/electrotecnia-etsiam/reglamentos/Normativa_Iberdrola/iberdrola/ni_54_63_01.pdf)
- [19] <http://www.inael.com/pop/CATALOGO%20ZSP%20Y%20ZLP%20CLASE%20II%5B1%5D.pdf>
- [20] <http://www.mesa.es/es/categoria/seccionadores-y-pantografos-de-at>
- [21] [http://www.unioviedo.es/pcasielles/uploads/cat%C3%A1logos/Interruptores\\_alta\\_tensi%C3%B3n/ABB\\_HPL-LTB.pdf](http://www.unioviedo.es/pcasielles/uploads/cat%C3%A1logos/Interruptores_alta_tensi%C3%B3n/ABB_HPL-LTB.pdf)
- [22] <http://www.mesa.es/productos/pdf/231%20CBGS1.pdf>
- [23] GIF, Gestor de Infraestructuras Ferroviarias, Ernesto Labarta Saz, Manual de Operación sistemas 2x25 kV
- [24] GIF, Gestor de Infraestructuras Ferroviarias, Manual de Maniobras subestación de tracción de Peñalba sola en servicio
- [25] Curso de Instalaciones eléctricas. Colegio oficial Ingenieros Industriales. Madrid. 1985.

## **Anexo: Planos**



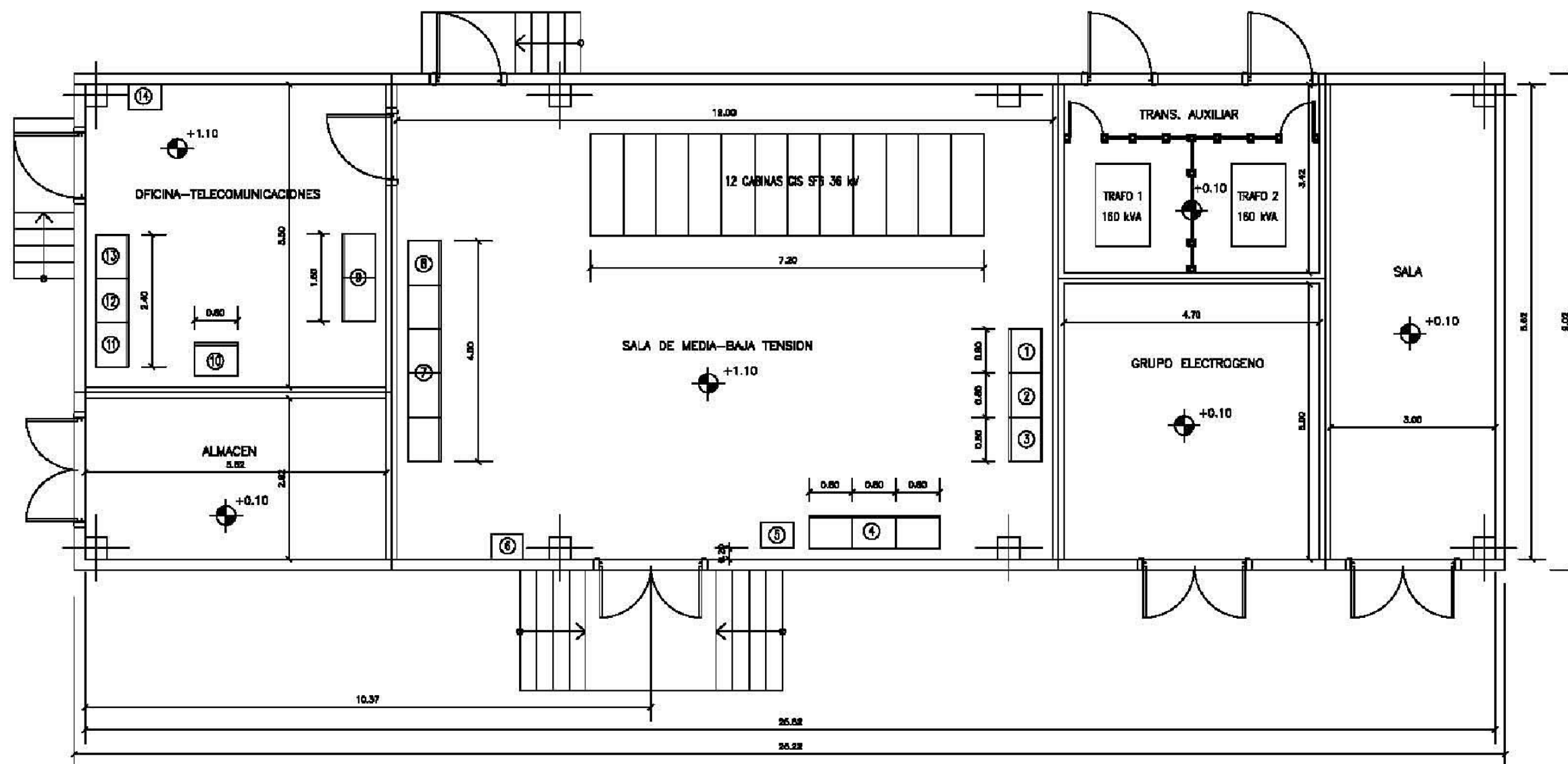
	FECHA	NOMBRE	 <div>Universidad Carlos III de Madrid</div>	
Dibujado	23/08/2014	JOSE M. FERNANDEZ		
Revisado	23/08/2014	JOSE M. FERNANDEZ		
Comprobado	23/08/2014	JOSE M. FERNANDEZ		
ESCALA	TITULO:		N.º en archivo:	
S/E	ESQUEMA UNIFILAR 220 kV		N.º en el proyecto: 1	
			Modificación	












POS.	DENOMINACIÓN
1	ARMARIO PROTECCIONES LÍNEA 1 Y TRAF01
2	ARMARIO PROTECCIONES LÍNEA 2Y TRAF0 2
3	BASTIDOR FRONTERA
4	SS/AA 220 Vcc
5	CUADRO DE ALUMBRADO Y FUERZA
6	CENTRAL DE ALARMAS
7	CARGADOR DE BATERIAS125 Vcc PRINCIPALY REDUNDANTE
8	SS/AA 125 Vcc
9	UNIDAD DE CONTROL S/E (2 ARMARIOS)
10	REPARTIDOR
11	TELEMANDO SUBESTACIÓN
12	TELEMANDO SECCIONADORES CATENARIA
13	COMUNICACIONES
14	VIGILANCIA Y CONTROL DE ACCESOS

	FECHA	NOMBRE	 <div>Universidad Carlos III de Madrid</div>	
Dibujado	23/08/2014	JOSE M. FERNANDEZ		
Revisado	23/08/2014	JOSE M. FERNANDEZ		
Comprobado	23/08/2014	JOSE M. FERNANDEZ		
ESCALA	TITULO:		N.º en archivo:	
S/E	EDIFICIO DE LA SUBESTACIÓN		N.º en el proyecto: 4	
			Modificación	

